

RESUMEN

El diseño y construcción de un árbol de levas con perfil modificado para mejorar el performance del motor Chevrolet Alto 2003 del Laboratorio de Motores; aplicando el cuarto eje del CMV Leadwell 760-AP, es un proyecto de tesis cuyo objetivo principal es desarrollar metodología adecuada e innovadora mediante la cual realizar la modificación en los perfiles de levas estándar del motor K10A y con ello mejorar las curvas de comportamiento del motor, preparándolo para competencia; con la condicionante de no tener que realizar ninguna modificación adicional en el motor para conseguir este objetivo. Adicionalmente, la construcción de los perfiles de levas resultantes fueron realizados de manera automatizada mediante la digitalización del nuevo árbol de levas en software especializado, el cual fue convertido a código numérico para poder transmitir la información tanto al torno como a la fresa CNC con cuatro ejes de movimiento, en donde se construyó el nuevo árbol de levas con perfil modificado, haciendo de este proyecto de tesis un tema realizado mediante tecnología de vanguardia.

El desarrollo de la metodología de modificación de los perfiles empieza con un análisis sobre la teoría de los motores de combustión interna y los conceptos básicos que se utilizaron en el proyecto para poder estudiar y entender el funcionamiento del motor, luego se hace un estudio más profundo de los mecanismos de distribución, puesto que el árbol de levas integra este sistema; la parte de fundamentos teóricos concluye con un análisis del software que se va a utilizar tanto para el diseño, digitalización, construcción, simulación de la construcción y simulación del desempeño del nuevo árbol de levas con perfiles modificados.

El estudio continúa con un análisis teórico sobre el árbol de levas, el régimen de giro del motor, las levas de admisión y escape y un análisis del tipo de levas existentes en el motor de combustión interna de acuerdo a su forma,

concluyendo esta parte del estudio con la metodología mediante la cual se realiza la variación de los perfiles de levas.

Luego del análisis teórico la tesis continúa con la metodología del diseño de las levas con perfil modificado; primero con la digitalización del perfil mediante la máquina de medición Mitutoyo QM 353, luego la metodología del diseño del nuevo perfil mediante la obtención del análisis cinemático y dinámico del eje estándar, y posteriormente realizar la modificación del perfil de la leva acorde a un análisis de las condiciones iniciales del diseño del motor. Se concluye con el cálculo cinemático y dinámico del nuevo árbol de levas con perfiles modificados y la posterior comparación de los datos del eje estándar para poder analizar si la modificación genera variaciones significativas en el comportamiento del árbol de levas modificado que puedan resultar peligrosas en el funcionamiento del motor.

El capítulo de diseño se cierra con el dimensionamiento del nuevo árbol de levas, el modelamiento digital y la generación del código numérico en software CAD CAM, en donde se incluye una simulación de la construcción del eje de levas con perfiles modificados con el fin de predecir cualquier falla que se pueda producir en la construcción y corregirla oportunamente.

El siguiente paso de nuestro proyecto es la construcción del nuevo árbol de levas con perfiles modificados; primero con la metodología de uso del cuarto eje del CMV Leadwell 760-AP, y posteriormente llegar al estudio de definición del material adecuado en el cual se construyó el árbol; luego el listado de herramientas y especificaciones para la construcción, después se indica a detalle todos los procesos dados en la construcción tanto en el torno CNC como en la fresa CMV Leadwell 760-AP, incluido una hoja de procesos y el manual de montaje del árbol de levas en el motor. El capítulo de construcción concluye con el análisis comparativo entre el perfil de leva original y el perfil modificado ya construido, mediante la máquina de medición Mitutoyo QM 353.

Una vez realizada la construcción se procedió con el análisis de tratamientos térmicos aplicables para el árbol de levas; luego se concluye la parte técnica de

nuestro proyecto mediante ensayos comparativos del desempeño de los árboles de levas estándar y modificado mediante el software especializado Dynosim Racing Software, programa avalado por la SAE para simular adecuadamente el comportamiento del nuevo árbol de levas y herramienta valedera en el diseño y modificación de motores por medio de tecnología de punta. El análisis mediante el software de modificación de motores incluye las tablas y las curvas de desempeño del motor estándar y modificado, y el posterior análisis comparativo con todos los datos, elemento mediante el cual podemos ver un análisis completo de los resultados obtenidos, y de cómo se obtuvieron las metas planteadas en el diseño de manera exitosa.

El proyecto concluye con el análisis económico y financiero para empezar una empresa de construcción de árboles de levas, además de las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el estudio. Estamos orgullosos de presentar este proyecto de investigación a la sociedad y a la Escuela Politécnica del Ejército.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El mejoramiento del performance de un motor de combustión interna está basado en una serie de perfeccionamientos, tanto en su estructura interna como externa, con el fin de llevarle al motor a desarrollar una potencia superior y mayor torque.

Con este propósito, el Laboratorio de Motores del DECEM, posee de un motor estándar Chevrolet Alto 2003 de 1000cc. Utilizado como banco de pruebas con fines didácticos para el desarrollo cognoscitivo y práctico de los estudiantes, en el cual se aplicará una metodología adecuada para la variación del perfil de levas.

La definición de una metodología para la variación del perfil de levas, es la investigación de todos los factores que intervendrán para el mejoramiento del performance del motor, basándonos en las características técnicas que ya posee desde su fabricación, como son: su potencia (65 Hp), su torque máximo (85 Nm).

Con el desarrollo de esta metodología, cimentamos la base del diseño y posterior construcción de los nuevos árboles de levas modificados, utilizando en este proyecto en específico el Centro de Mecanizado Leadwell 760 AP de la empresa Emanufacturing del Ecuador, que consta dentro de su gran versatilidad de un cuarto eje, el cual será nuestra herramienta principal para la construcción de los árboles de leva; llevando al centro de mecanizado a una aplicación sin precedentes.

El atraso tecnológico del país, ha sido un gran impedimento para que no se desarrollen proyectos de este tipo, y que se den modificaciones básicas en los

motores ya sea por su costo o dificultad. Esta es la principal razón para nuestro emprendimiento hacia una investigación dentro de las modificaciones para el mejoramiento del performance de un motor, haciendo de su reto un objetivo.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el sistema de distribución en un motor estándar, la apertura y el cierre de las válvulas se encuentra diseñadas para darnos la suficiente potencia sin un mayor sacrificio de sus partes móviles, procurando una mayor duración. Pero en un motor modificado, su principal intención es la entrega de la mayor potencia posible y el alcance de regímenes de giro más elevados, por lo que es en su sistema de distribución donde se pueden obtener los más favorables resultados para su mejoramiento.

Para ello es necesario conocer que el eje de levas, es el llamado a controlar los momentos de apertura y cierre de las válvulas, y el perfil o contorno de las levas es el que determina el diagrama de distribución y las condiciones de funcionamiento del sistema, regulando la velocidad tanto de apertura como de cierre, permanencia y altura de levantamiento de dichas válvulas. En el caso de nuestro proyecto, que se desarrollará basado en un motor Chevrolet Alto 2003, que consta de dos árboles independientes, uno de admisión y uno de escape; y el accionamiento respectivo de los mismos.

Por consiguiente, para alcanzar el mejoramiento de su performance, desarrollaremos una metodología en la variación y modificación de los perfiles de las levas y del eje en sí, ya que el árbol de levas es el elemento más importante dentro del mecanismo de accionamiento de las válvulas no solo por su especial diseño, sino por la función tan específica que realiza, integrando su cálculo y sincronización, el cual es en gran manera el responsable del rendimiento del motor.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar, construir e implementar los árboles de levas modificados en su perfil tanto para admisión como para escape en el motor estándar Chevrolet Alto 2003 mediante el desarrollo de una metodología adecuada para la modificación de la variación del perfil de levas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Implementar la metodología adecuada en la variación del perfil de las levas y llevar a cabo su diseño y construcción.
- Aplicar el cuarto eje del centro de mecanizado vertical Leadwell 760 AP.
- Seleccionar el material del árbol de levas de modo que su vida útil permita resistir a las altas temperaturas que se alcanzan en el motor.
- Seleccionar el tratamiento térmico que se dará a las levas, que resista al desgaste por rozamiento.
- Modelar y simular el funcionamiento de las levas por medio de los paquetes de Software Solid Works y Dynosim Racing Software, utilizados para generar mecanismos industriales.

1.4. ALCANCE

El desarrollo de una metodología de variación del perfil de las levas para llegar a un mejoramiento en su diseño y construcción, nos llevarán al cumplimiento de nuestros objetivos y la incursión en la investigación en el campo de la modificación de motores estándar para alcanzar mayores aprestamientos de los mismos en potencia, torque, y con un control adecuado del consumo de combustible.

La alta competencia en el campo automotriz, lleva de la mano un adelanto tecnológico muy importante, que en estos inicios del siglo XXI, la

personalización de los automóviles se ha presentado como un auge, en lo económico y social, que busca satisfacer el gusto y la necesidad de la sociedad que los rige. En este campo, el mejorar el performance de un motor estándar, es a más de una idea, que se convierte en un proyecto con una fuente de trabajo y sobre todo un desarrollo tecnológico, económico y social.

En nuestro país, por su supuesto subdesarrollo no se han dado tales oportunidades, y ante ello este proyecto, quiere alcanzar un avance tecnológico de oportunidad para demostrar que en nuestro país se puede lograr resultados importantes.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Este proyecto va a ser desarrollado debido a que no existe una metodología clara y precisa, para la variación o modificación de los perfiles de levas en motores estándar para mejorar su performance en el ámbito de crear autos de competencia en nuestro medio. En el mercado automotriz nacional, la modificación de motores con fines de alcanzar un mejor rendimiento ha tenido un crecimiento abrumador; donde la variación del perfil de las levas de un motor estándar a uno de competencia es una de las formas de hacerlo, pero con sus limitantes, debido a la falta de una metodología y la tecnología adecuada para su desarrollo.

Este proyecto nos permitirá no solo desarrollar una metodología sino aplicarla en el diseño y construcción de las levas modificadas, para ello se utilizará El Centro de Mecanizado Vertical Leadwell 760 AP, en cuyas herramientas se encuentra su cuarto eje, el mismo que no está siendo utilizado por la empresa, y una aplicación directa es la construcción del árbol de levas, objetivo del proyecto.

El diseño y la construcción del árbol de levas modificado, será para el motor de 1000cc. Chevrolet Alto 2003, propiedad del DECEM en donde se realizarán las pruebas y comparaciones respectivas. Obteniendo así un motor que se pueda desempeñar como estándar y para competencia.

La fabricación de un árbol de levas es en teoría compleja, pero con el aporte del Centro de Mecanizado Vertical Leadwell 760 AP, se vuelve sencilla, donde se necesita el desarrollo del diseño, el material respectivo, el tratamiento térmico adecuado y la realización de las pruebas en el motor.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

En términos generales y para iniciar el estudio de los diferentes temas que trataremos en este proyecto, definiremos al motor modificado, como un motor de combustión interna, basándonos en los mismos principios en que se fundamentan los motores estándar; diferenciándolos de éstos, únicamente, que para una misma cilindrada, un motor modificado desarrolla una potencia muy superior y regímenes de giro mas elevados que los motores estándar de tipo comercial.

Para obtener incrementos elevados en el motor, centralizaremos el estudio en el denominado sistema de distribución; particularmente en el diseño y la construcción de un árbol de levas con perfiles modificados; para lo cual desarrollaremos una metodología de variación en dichos perfiles.

Los órganos de la distribución, están constituidos principalmente por el conjunto de válvulas y muelles de retención, los balancines y mandos de accionamiento intermedio, el árbol o eje de levas y los mecanismos de accionamiento de los mismos¹. El árbol de levas es tal vez, el elemento más importante en la preparación de un motor, debido a que de este depende la cantidad y el tiempo de “respiración“ del motor, es decir su llenado y consecuentemente su potencia obtenida.²

¹ Preparación de motores de competición; Luís Ruigi, 5ta Edición, p. 195.

² Preparación de motores de competencia; Efrén Coello Serrano, año 2003, p. 21.

El eje de levas suele ser de acero forjado o hierro fundido, está mecanizado y endurecido para poder ofrecer la máxima resistencia al desgaste en el contorno de las levas, las mismas que están dispuestas en función al orden de encendido y a los diagramas de apertura y cierre de válvulas, lo que les hace el principal elemento mecánico del eje, ya que mediante su perfil mecanizado, se logra un efecto óptimo de vaciado y llenado de la mezcla aire combustible en la cámara de combustión del motor.

Por lo general, el eje de levas en motores de competición actúa directamente sobre la cola de las válvulas, este sistema, también adoptado en ciertos motores de serie, anula toda la inercia que se produce cuando existen elementos intermediarios. Pero esta solución no es la más usual, ya que es muy frecuente el empleo de balancines para transmitir el movimiento de las válvulas, aunque el árbol de levas se halle emplazado en la misma culata. Esta técnica también tiene sus ventajas pues permite a las válvulas una altura de levantamiento que sólo sería posible, en otro sistema, mediante el empleo de levas de grandes proporciones, lo cual podría producir dificultades constructivas en el conjunto del árbol, a parte de crear otros problemas por la mayor velocidad relativa de las superficies rozantes.³

Todo el funcionamiento del sistema de distribución, está encaminado hacia las válvulas, que son los elementos encargados de abrir y cerrar los conductos por donde entra el aire de admisión (válvulas de admisión) y por donde salen los gases de escape (válvulas de escape); la admisión y expulsión de los gases se da lugar en los motores de combustión interna de cuatro tiempos, considerando a ello, como la respiración del motor; ya que es la propiedad de admitir la mezcla aire combustible al interior de cada uno de los cilindros y evacuar de ellos los gases en los momentos precisos y en las cantidades necesarias según la cilindrada y el régimen de giro del motor.

Las válvulas poseen elementos que permiten mantenerlas firmemente apoyadas contra sus asientos cuando estas deben permanecer cerradas, se los conoce como muelles de válvula. Los muelles deben como mínimo poseer

³ Preparación de motores de serie para competición; Stefano Gillieri, Editorial Ceac 1994, p. 212.

la fuerza suficiente para no permitir la apertura de las válvulas cuando deben permanecer cerradas, por ejemplo en la depresión producida en la carrera de admisión en el cilindro, o en la combustión de la mezcla producida en el punto muerto superior en el ciclo de compresión.

2.2 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

El motor de combustión interna es un tipo de máquina térmica y su principal función es la de transformar el calor que toman de una fuente determinada y convertir lo posible en energía mecánica aprovechable, disipándose el excedente como pérdidas térmicas.

En los motores térmicos la energía recibida por un fluido, se da mediante su proceso de combustión, el cual en algunos casos se desarrolla dentro del motor térmico y en otros fuera de él; a los motores embarcados en el primer caso los conocemos como motores de combustión interna, mientras que el segundo caso se refiere a los motores de combustión externa. Dentro de la primera agrupación existen varios factores que diferencian a cada tipo de motor, siendo la más amplia el tipo de movimiento principal existente en los mecanismos internos del motor para convertir la energía, esto es, de movimiento alternativo o turbinas de gas.

En los motores alternativos existe una nueva clasificación dependiendo del método utilizado para producir la combustión del fluido agente, la cual puede ser mediante encendido por chispa o encendido por compresión.

En los motores de encendido por compresión, también conocidos como motor de aceites pesados, existen los refrigerados por aire y los refrigerados por agua, que a su vez los dos tipos anteriores se pueden clasificar cada uno en motores de dos tiempos y motores de cuatro tiempos.

Los motores de encendido por chispa se pueden clasificar en función del fluido agente utilizado para el proceso de combustión; estos pueden ser motores a gasolina o motores a gas.

El motor a gasolina puede subdividirse en motores que son refrigerados por agua y motores que son refrigerados por aire, los cuales a su vez independientemente pueden clasificarse en motores de dos y cuatro tiempos.

Los motores de cuatro tiempos a gasolina pueden dividirse de varias formas, ya que es una de las formas de conversión energética que mas se ha utilizado en los últimos tiempos, lo cual a generado varios grupos de constructores encargados de generar distintas formas de funcionamiento, siempre respetando los principios fundamentales del motor de combustión interna de cuatro tiempos; pero para poder enmarcar la clasificación en función del motor en el cual realizaremos las modificaciones en el sistema de distribución, podemos decir que se pueden enmarcar en motores de cuatro tiempos con válvulas en la culata, o con válvulas laterales.

Luego de estos parámetros podemos decir que el motor para nuestro estudio es un motor térmico de combustión interna, de tipo alternativo y de encendido por chispa, cuyo fluido agente es gasolina, refrigerado por agua, de cuatro tiempos y de multiválvulas en la culata, ya que posee 4 válvulas por cilindro.

2.2.1 Ciclos reales del motor de combustión interna de 4 tiempos

Los motores alternativos de combustión interna difieren en su forma, tamaño, potencia, modo de operar y en muchos otros aspectos, por lo cual es muy difícil realizar una descripción general, no obstante, es conveniente analizar al principio básico que enmarca a todos ellos, y una parte fundamental del mismo es el ciclo de cuatro tiempos. Todo motor de combustión interna de cuatro tiempos es un sistema alternativo, por lo cual consta principalmente de un émbolo y un cilindro, cuyas principales características se presentaron en la figura 2.1:

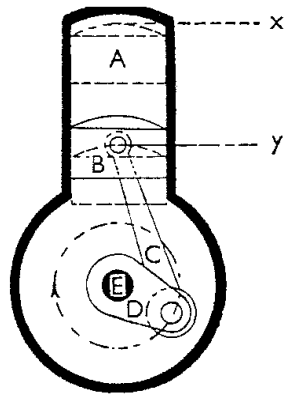


Figura 2.1: (Componentes esenciales de un motor de combustión interna)

A es un cilindro en el que un émbolo B puede moverse en sentido vertical alternativamente. El émbolo está acoplado a una biela C que une mecánicamente el émbolo al brazo de manivela D.

El objetivo de la biela y de la manivela es de convertir el movimiento alternativo del émbolo en movimiento de rotación del cigüeñal E. Vemos en la figura 2.1 que el cilindro está cerrado en la parte superior del émbolo, de manera que si en este existe un fluido compresible, el movimiento ascendente del émbolo lo comprimirá. Si el émbolo se encuentra en el extremo superior del cilindro y el fluido compresible trata de expandirse mediante algún estímulo externo, obligará a descender al émbolo.

En el motor de combustión interna el estímulo externo aplicado al fluido compresible es la provocación del encendido de una mezcla de gases combustibles, o un gas combustible y aire, en el momento en que el émbolo está cerca del extremo superior del cilindro. La expansión subsiguiente a la carga (o mezcla) quemada desplaza al émbolo hacia abajo y el cigüeñal gira, como consecuencia del par resultante aplicado.

Si el motor ha de girar continuamente, es evidente que hay que prever la manera como repostar la mezcla combustible, así como la expulsión de los gases quemados, de manera que el cilindro pueda volverse a cargar, por lo cual en el motor de combustión interna se tiene definida una secuencia que se

repite sucesivamente mientras el motor se encuentra girando, así es entonces que el ciclo esencial es:

1. Debe introducirse o aspirarse una carga combustible en el cilindro.
2. La carga se comprime
3. Ignición; la carga se enciende
4. Los gases quemados se expansionan realizando el trabajo sobre el émbolo y, a través del mismo, sobre la carga acoplada al motor.
5. Los gases quemados se expulsan del cilindro y el ciclo vuelve a empezar.⁴

Este ciclo se puede completar con dos o cuatro carreras del émbolo. Para que este ciclo pueda realizarse, debemos anexar a la figura 2.1 otros elementos. Así en la figura 2.2 en la cual en el extremo superior del cilindro (culata), tiene unas aberturas que se cierran por medio de las válvulas F y G. Si la válvula F está abierta, la cámara del cilindro está en contacto con el conducto H. Análogamente la válvula G pone en comunicación con el conducto J. Estos conductos son conocidos como colectores.

Ahora bien, si el colector H está en comunicación con el suministro del fluido agente que ha de ser utilizado en el motor, con la válvula F abierta y la G cerrada, la carga será aspirada dentro del cilindro cuando el émbolo baje. Análogamente, si el colector J está en comunicación con la atmósfera, con la válvula abierta y la F cerrada, el movimiento ascendente del émbolo se utilizará para limpiar el cilindro de los productos de combustión obligando a los gases quemados a salir a la atmósfera por el colector J. (gráfico 2.2)

⁴ Termodinámica y Motores Térmicos; Donald H. Marter, p. 192.

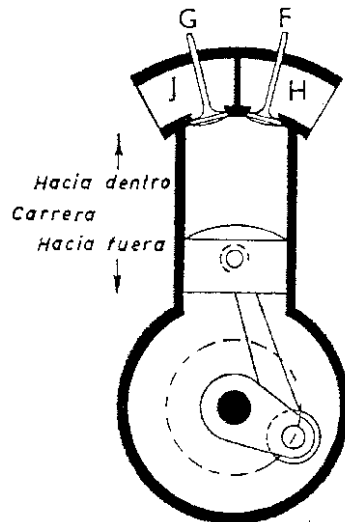


Figura 2.2: (Colectores de admisión y escape)

Es evidente que el cierre y apertura de las válvulas debe producirse en los momentos adecuados del ciclo. F es la válvula de admisión y G es la válvula de escape. Una vez que definimos los conceptos básicos, entenderemos como funciona el ciclo de cuatro tiempos, que se da en dos giros del cigüeñal. Mediante el gráfico 2.3 estableceremos las definiciones necesarias.

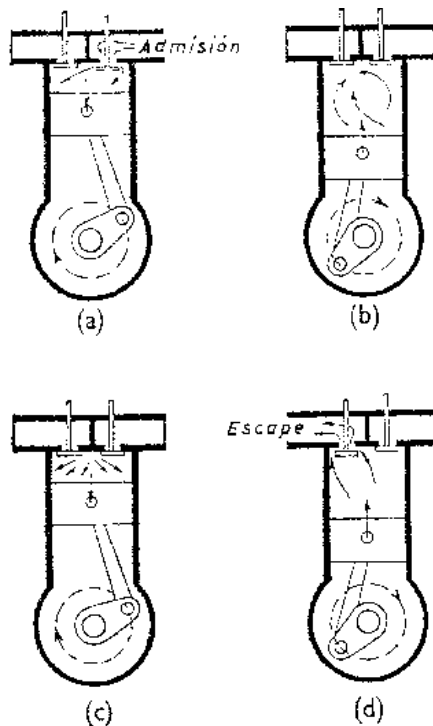


Figura 2.3: (Ciclo Otto ideal de 4 tiempos)

En (a) la válvula de admisión está abierta y el émbolo baja dentro del cilindro, aspirándose dentro de ésta una carga debido a que en su interior, al descender el émbolo la presión es ligeramente inferior al colector de admisión. Puede suponerse que la presión dentro del cilindro permanece constante durante esta carrera.

En (b) el émbolo penetra de nuevo en el cilindro y ambas válvulas están cerradas. La carga se comprime y la presión aumenta a medida que el émbolo sube y el volumen disminuye.

En (c) la carga se inflama, y puede suponerse que la presión aumenta durante la ignición, mientras el émbolo esta cerca del punto muerto superior (P.M.S), después, la presión de los gases quemados disminuye a medida que el émbolo desciende y los gases se expansionan. Ambas válvulas se encuentran cerradas.

En (d) la válvula de escape está abierta y el émbolo se introduce de nuevo en el cilindro, en el cual la presión es ligeramente superior a la de la atmósfera y se supone constante. La carga quemada se expulsa por el colector de escape. Esta carrera completa el ciclo y el motor está de nuevo de nuevo preparado para recibir una carga fresca y repetir la misma secuencia.

El ciclo descrito se aplica en todos los motores de combustión interna que funcionan mediante el ciclo de cuatro tiempos. Este ciclo fue aplicado en 1876 por Otto, por lo que se le conoce como ciclo Otto, consta de cuatro fases distintas, admisión, compresión, expansión y escape.⁵

2.2.2 Consideraciones previas sobre la distribución

La apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape no se dan exactamente cuando el émbolo se encuentra en los puntos muertos superior e inferior; sucede en ángulos de giro antes o después de los puntos muertos para

⁵ Termodinámica y Motores Térmicos; Donald H. Marter, p. 195.

lograr un mejor vaciado y llenado de la carga. Además inclusive el encendido de la carga no se da exactamente en el punto muerto superior.

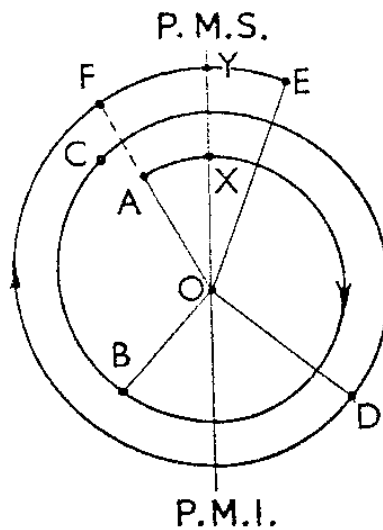


Figura 2.4: (Diagrama de distribución de válvulas)

La figura 2.4 representa un diagrama típico de distribución con válvulas, en el que XBCDY representan dos revoluciones de la máquina, siendo X e Y las posiciones del P.M.S del cigüeñal. El diagrama AXBCDYE representa más de dos revoluciones del motor y representa también un ciclo completo. Por lo cual vemos que, un ciclo se solapa con el siguiente en parte de revolución representada por FE.

En la figura 2.4 la válvula de admisión se abre en A y se cierra en B, La compresión empieza en B. El encendido se inicia en el punto C. En la segunda carrera de salida del émbolo, la válvula de escape se abre en D y no se cierra hasta que se ha alcanzado el punto E.

Es claro que, las dos válvulas permanecen abiertas simultáneamente durante parte del periodo de rotación del cigüeñal representado por el ángulo AOE; éste ángulo se llama ángulo de traslape de las válvulas.

En el motor de encendido por chispa, al final del proceso de compresión, el cilindro tiene una mezcla de combustible y aire. La inflamación de esta mezcla

se verifica por el salto de un arco eléctrico entre los electrodos de una bujía, pero, cuando salta la chispa no debe producirse una combustión espontánea de combustible; se necesita un pequeño intervalo de tiempo, durante el cual se desarrolla un pequeño núcleo de llama, antes de que tenga efecto la rápida propagación de la misma en el seno de la mezcla.

El período necesario para el establecimiento del núcleo se llama retraso, y durante éste período el cigüeñal puede girar 12 grados aproximadamente. La propagación de la llama a través del cilindro una vez se ha establecido el núcleo, se produce con bastante rapidez, de manera que casi tiene efecto a volumen constante, ya que el émbolo recorre una distancia muy corta durante el proceso. Por tanto, la temperatura y presión de los gases del cilindro crecen rápidamente durante el mismo.

El punto del ciclo en el que se produce el aumento de presión, es decir, el punto donde se produce la propagación de la llama, influye grandemente sobre el comportamiento del motor, puesto que regula el aumento de presión referido en el ángulo de giro del cigüeñal, por lo cual, es necesario hacer un adelanto del salto de la chispa, el cual está regulado de acuerdo a las condiciones de funcionamiento y varía en determinados regímenes de trabajo, a este punto se lo conoce como avance al encendido. Al mejorar la propagación de la llama en el motor también intentamos mejorar mediante los adelantos y retrasos en las válvulas de admisión y escape el llenado y el vaciado de la mezcla aire combustible, optimizando el proceso⁶.

2.2.3 Parámetros característicos de un motor de combustión interna

El principio de funcionamiento de los motores de combustión interna de cuatro tiempos se basa en el ciclo Otto, por lo cual para definir los parámetros característicos nos basaremos en los cambios geométricos, de eficiencia y de diseño para poder diferenciar un motor de otro; entre los parámetros más relevantes están los siguientes:

⁶ Termodinámica y Motores Térmicos; Donald H. Marter, p. 202.

2.2.3.1 Diámetro interior del cilindro y carrera: El tamaño del cilindro del motor se define por su diámetro interior y la carrera del pistón, o sea, la distancia del punto muerto superior (P.M.S) al punto muerto inferior (P.M.I); mediante estas medidas se halla el volumen desplazado por el pistón. En décadas pasadas se acostumbraba fabricar motores con carrera relativamente grande y diámetros pequeños, pero recientemente se ha pasado a diseñarlos con la carrera más corta y el diámetro mayor; este tipo de motores se los conoce como “sobrecuadrados”. Un motor llamado “cuadrado” es el que tendría igual diámetro que carrera.

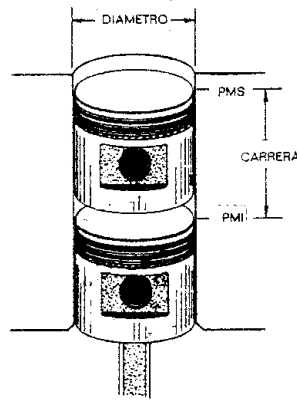


Figura 2.5: (Diámetro y carrera del émbolo)

2.2.3.2 Desplazamiento del pistón (Cilindrada): Se llama así al volumen que desplaza el pistón cuando va del Punto muerto inferior al punto muerto superior. Para hallar el volumen desplazado, utilizaremos las dimensiones conocidas del diámetro D y la altura o carrera L en la fórmula (2.1):

$$C = \frac{\pi * D^2 * L}{4}$$

(2.1)

2.2.3.3. Relación de compresión: La relación de compresión de un motor nos da el nivel de compresión a que se somete la mezcla en el

interior del cilindro. Para calcularlo se divide el volumen de aire contenido en el cilindro cuando el pistón está en el P.M.I por el volumen que ocupa al pasar el pistón al P.M.S. El espacio entre el pistón cuando está en el P.M.S y la culata se le llama cámara de combustión, puesto que es el espacio que permanece por encima del pistón cuando éste ha llegado al P.M.S.

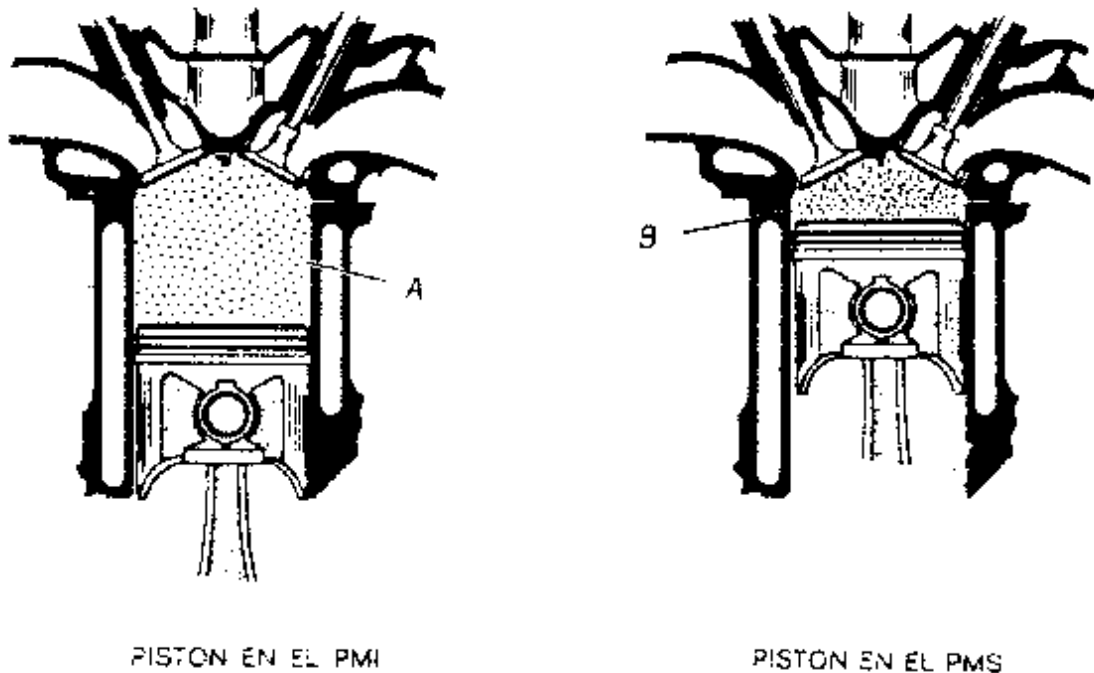


Figura 2.6: (Punto muerto superior e inferior del pistón)

2.2.3.4 Alimentación de la mezcla aire-combustible: Cuando el pistón desciende en la carrera de aspiración, se produce un vacío en el interior del cilindro y entonces la presión atmosférica (presión del aire), empuja el aire hacia el interior del mismo. Esta mezcla pasa antes de llegar al cilindro por el filtro y el colector de admisión, lo que hace que la presión atmosférica no sea suficiente para poder empujar el aire hacia el interior del cilindro, ya que son zonas que restringen el paso del mismo.

2.2.3.5 Rendimiento volumétrico: La cantidad de mezcla introducida en el cilindro durante la carrera de admisión es una medida del rendimiento volumétrico del motor. Si la mezcla fuera aspirada lentamente sería posible que el cilindro se llenara en su totalidad; sin embargo, el aire debe pasar por ciertas restricciones necesarias como son, por ejemplo, el filtro y el colector, además, la mezcla está sometida al calor (procedente del motor y del colector de escape) y por lo tanto aumenta su temperatura y por ende su volumen.

Estos dos fenómenos, rápido movimiento y calentamiento, reducen la cantidad de mezcla que puede ingresar en el cilindro durante la carrera de aspiración; lo que deriva en que no se pueda realizar un llenado completo debido a que el tiempo disponible para ello es demasiado corto. Con lo cual, podemos discernir, que el rendimiento volumétrico es la relación entre la mezcla que realmente entra en el cilindro y la que podría entrar en condiciones ideales. Esta es una razón por la cual la velocidad y la potencia del motor no pueden aumentar continua e indefinidamente, con lo cual, cuanto mayor es la velocidad del motor menor es el tiempo que se dispone para el llenado del cilindro, llegándose a un punto en que la cantidad de mezcla que penetra es insuficiente, con la que a esa velocidad disminuye la potencia.

2.2.3.6 Potencia desarrollada: La potencia es la rapidez a la cual se realiza un trabajo. La rapidez a la cual el motor puede realizar el trabajo se mide en caballos de potencia, por ejemplo; un motor que puede suministrar 33.000 libras-pie (4562 kgm) de trabajo en un minuto, diremos que desarrolla una potencia de un caballo. Un motor que pueda realizar el trabajo de 6.6000.000 libras-pie en un minuto, tiene una potencia de 200 hp. La potencia que realmente suministra un motor es la llamada potencia al freno (hpf), la cual se puede medir mediante mecanismos llamados frenos dinamométricos⁷.

⁷ Motores de automóvil; William H. Crouse, primera edición, p. 61.

2.2.3.7 Potencia indicada (hpi): La potencia indicada es la realmente desarrollada en el interior del cilindro por el proceso de combustión. Para la determinación de la hpi se necesita un instrumento llamado osciloscopio. Este aparato mide en forma continua la presión (por medios eléctricos), en el interior del cilindro durante las cuatro carreras del pistón, es decir, en un ciclo completo, un ejemplo es la siguiente figura:

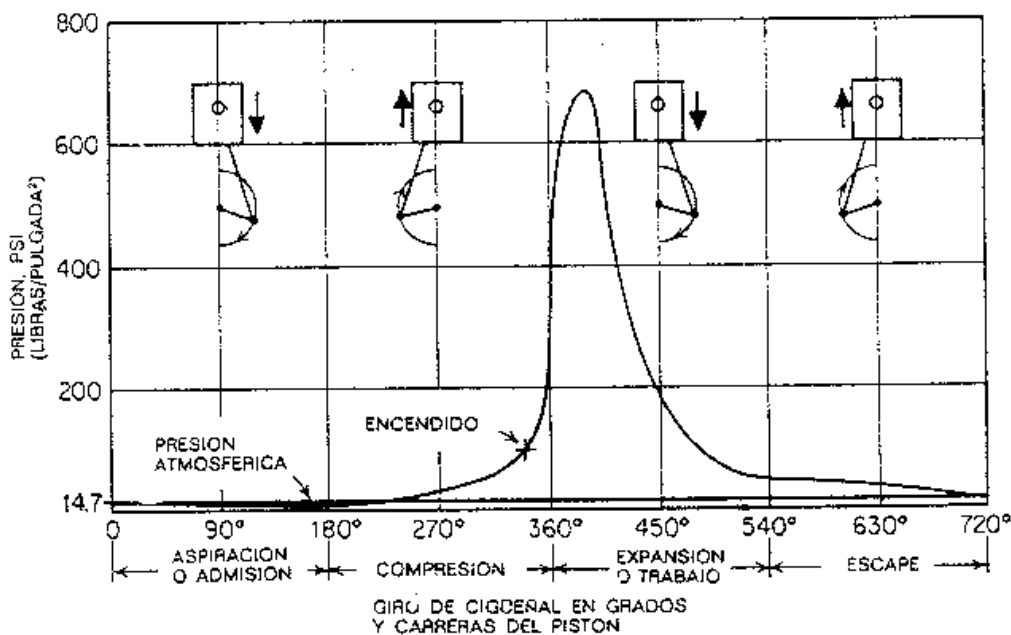


Figura 2.7: (Presión media efectiva por cada tiempo en el motor)

Mediante la figura 2.7 puede ser determinada la presión media efectiva (p_{me}) en el interior del cilindro, la cual es la presión media durante la carrera de trabajo o expansión, menos la media de las presiones durante las otras tres carreras. La p_{me} es la presión que realmente empuja hacia abajo el pistón durante la carrera de trabajo. A base de la p_{me} y otros datos del motor, utilizaremos la fórmula (2.2) para calcular la potencia indicada (hpi).

$$hpi = \frac{p_{me} * L * A * N * K}{33.000} \quad (2.2)$$

Donde:

pme = presión media efectiva, en p.s.i

L = carrera, en pies

A = área de la sección del cilindro, en pulgadas cuadradas

N = número de carreras de trabajo por minuto (o r.p.m/2)

K = número de cilindros.

En el funcionamiento, parte de la potencia desarrollada por el motor es empleada en vencer los rozamientos en el interior del mismo. Por lo tanto la potencia indicada (que es desarrollada en el interior del motor) es siempre mayor que la potencia al freno (que es la suministrada al motor a la salida). Las pérdidas de potencia por rozamiento pueden ser determinadas restando la potencia al freno de la potencia indicada⁸.

2.2.3.8 Par: Es un esfuerzo de giro que aplica el pistón cuando desciende en su carrera de trabajo mediante la biela y la manivela al cigüeñal; cuanto mayor sea el empuje sobre el pistón, mayor será el par aplicado, así pues, cuanto más elevada sea la presión de la combustión, mayor será el par desarrollado por el motor. No debe confundirse el par con la potencia.

El par es un efecto de rotación o giro que el motor transmite a través del cigüeñal, mientras que la potencia es la rapidez con la que se realiza el trabajo el motor. Con lo cual podemos concluir que la potencia depende de la velocidad del motor (rpm), mientras que el par no. El par es el producto de la fuerza ejercida por la distancia del centro de giro del eje del cigüeñal, medido en pies-libra o metros-kilogramo. Para medir el par se pueden utilizar frenos

⁸ Motores de automóvil; William H. Crouse, primera edición, p. 63

dinamométricos. Mientras mayor sea el rendimiento volumétrico mayor será el par.

2.2.3.9 Rendimiento del motor: El término rendimiento significa la relación entre la fuerza ejercida y el resultado obtenido. Aplicado al motor será la relación entre la potencia suministrada por el motor (hpf) y la que pudiera obtener si el motor operase sin ningún tipo de pérdidas. El rendimiento del motor puede ser expresado como rendimiento mecánico y rendimiento térmico. El *rendimiento mecánico* es la relación entre hpf y hpi como se indica en la fórmula (2.3):

$$\text{rendimiento} = \frac{hpf}{hpi}$$

(2.3)

El *rendimiento térmico* en un motor es la relación entre la potencia a la salida del motor y la energía suministrada por el combustible para obtener aquella. Una parte considerable del calor se disipa en las paredes del bloque motor y válvulas, se pierde en el calentamiento del agua de refrigeración y del aceite lubricante. Además, puesto que los gases de escape son expulsados aún calientes arrastran también una cierta cantidad de calor producida por la combustión. Todas esas son pérdidas de calor (térmicas) que reducen el rendimiento térmico del motor; no contribuyen al desarrollo de la potencia a la salida del motor. El rendimiento térmico del combustible (gasolina), suele ser del orden del 30% y raramente supera el 35%. Limitaciones de tipo práctico impiden la obtención de rendimientos superiores⁹.

2.3 ACCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS

El accionamiento de las válvulas se realiza mediante los elementos del sistema de distribución, la cual tiene la misión de hacer posible la admisión de los gases

⁹ Motores de automóvil; William H. Crouse, primera edición, p. 67

frescos en los cilindros y la expulsión de los gases quemados en determinados momentos, es decir; a una determinada distancia del pistón a los puntos muertos dada en grados angulares de la rotación del cigüeñal.

La constitución del sistema de distribución, sobre todo de la disposición de las válvulas, influye básicamente en la estructura del motor. Se acciona el sistema de distribución desde la rueda del cigüeñal, que puede tener la forma de rueda de cadenas, rueda de correa dentada o rueda dentada, al árbol de levas. Las levas abren las válvulas de admisión y escape contra fuerzas de resortes por medio de elementos de transmisión de fuerzas, por ejemplo balancines o propulsores, y se cierran gracias a la fuerza de los resortes.

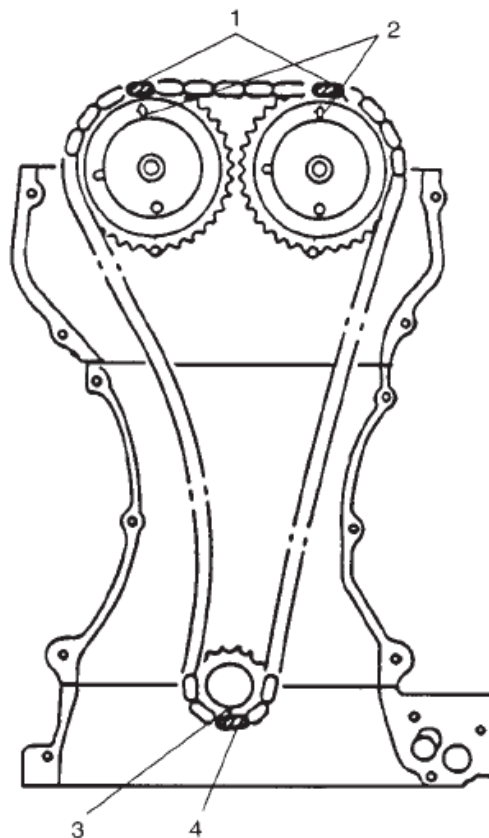


Figura 2.8: (Sincronización de la cadena de distribución con los piñones de los árboles de levas y el cigüeñal)

En nuestro caso, el mando de la distribución es accionado por cadenas, que junto con el de correas dentadas y el de piñones son los más utilizados con el árbol o árboles de distribución.

Las ruedas dentadas tanto conductora como conducida, al estar muy distantes unas de otras se colocan elementos tensores, que eliminan el ruido, pero no el gradual desfase de la distribución, por lo que en la preparación de motores es muy común encontrar distribuciones accionadas mediante la combinación de cascadas de piñones en toma directa y cadenas, o bien de cortos tramos de cadenas independientes. Pero en nuestro caso, utilizaremos la misma cadena original, pues la modificación solo la aplicaremos en los perfiles de las levas.

2.4 PUESTA A PUNTO DE LA DISTRIBUCIÓN

La puesta a punto de la distribución, está determinado por el fabricante, ya que empieza desde el ensamblaje de todas las partes y piezas que posee este sistema.

Los motores en serie van provistos de marcas en los engranajes de accionamiento de la distribución, de tal forma que en el caso de que se desmontaran éstos, se puedan montar nuevamente en la misma posición original dada por el fabricante.

Para realizar la puesta a punto se partirá del diagrama de la distribución para la que se hizo la modificación o construcción del nuevo árbol de levas. El diagrama nos muestra la posición angular de la muñequilla del cigüeñal en el instante en que debe comenzar la apertura de la válvula de admisión y la de escape según el caso¹⁰.

Si el motor está provisto de un solo árbol de levas, para todas las levas bastará poner a punto la distribución de éste solo. Si consta de varios árboles de levas, tanto si se trata de árboles separados para las válvulas de admisión y de escape como si se trata de dos árboles de levas para dos líneas de cilindros, se habrán de poner a punto los dos ejes de levas, teniendo en cuenta la posición relativa de las levas y el orden de encendido.

¹⁰ Preparación de motores de competición; Luís Ruigi, 5ta Edición, p. 211

Para realizar la puesta a punto de todos los elementos de la distribución, es necesario tener datos exactos de algunas características del motor como el diagrama de distribución y el avance de encendido. Con ellos podemos ajustar siempre el motor a los períodos asignados por el fabricante.

Una vez que tenemos libres los distintos elementos, en este caso el accionamiento de la distribución y del encendido es necesario contar con los siguientes elementos:

- Tres discos graduados uno para el cigüeñal y dos para cada árbol de levas; que nos informe de los grados girados por el cigüeñal en cada momento. Un palpador correctamente encerado.
- Herramientas de taller.

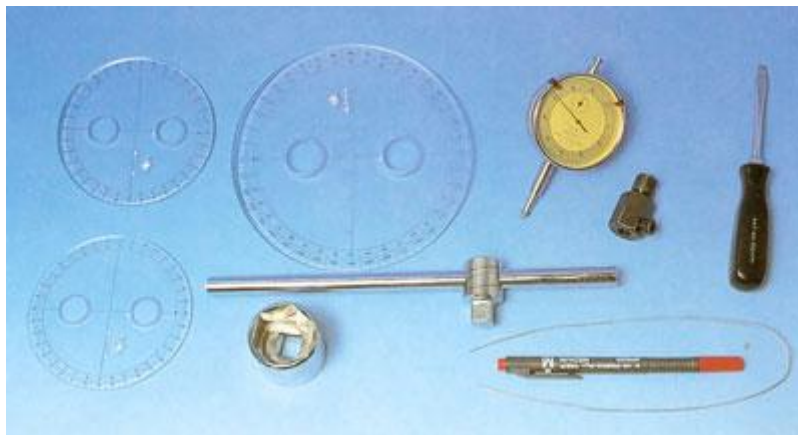


Figura 2.9: (Herramientas para la puesta a punto de la distribución)

1) Se coloca el primer pistón en el PMS (punto muerto superior), para ello se coloca el palpador en el orificio de la bujía, se gira el cigüeñal verificando que las señales suministradas por el fabricante coincidan con las respectivas poleas del cigüeñal y eje de levas.

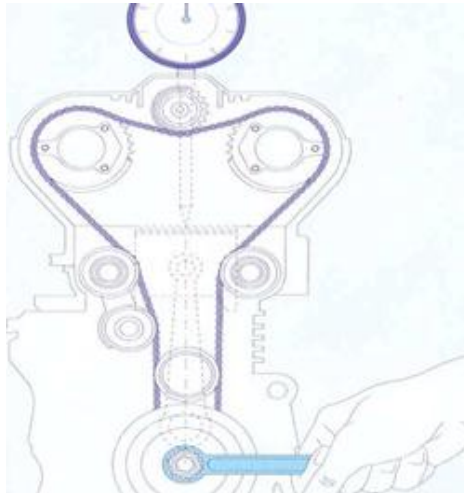


Figura 2.10: (Obtención del punto muerto superior en el primer cilindro)

- 2) Montar el platillo o disco graduado en frente del cigüeñal, tal que las señales originales de la corona dadas por el fabricante, coincidan con el cero del disco graduado.

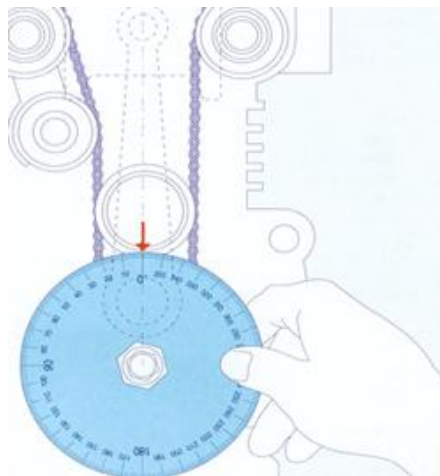


Figura 2.11: (Montaje del disco graduado en el cigüeñal)

- 3) Se coloca un puntero fijo en dirección del cero del disco, para tomarlo como punto de referencia y hacer más exacta la medición de los ángulos deseados.

4) Con el motor en e PMS y los datos del diagrama de distribución, llevamos el pistón al punto exacto en el que se abre la válvula de admisión, sin olvidar girar el cigüeñal siempre en el sentido en el que lo hace normalmente. El disco graduado de nos permitirá situarlo sin error.

5) Normalmente, si no se trata de un motor con un solo árbol, aún no podremos componer el sistema de accionamiento, por lo que es conveniente marcar de alguna manera la posición exacta, de modo que posteriormente lleguemos a ella inmediatamente.

6) Para “calar” los árboles de levas, hay que girar el cigüeñal los grados precisos hasta que el diagrama de distribución nos indique que la válvula de admisión se debe abrir.

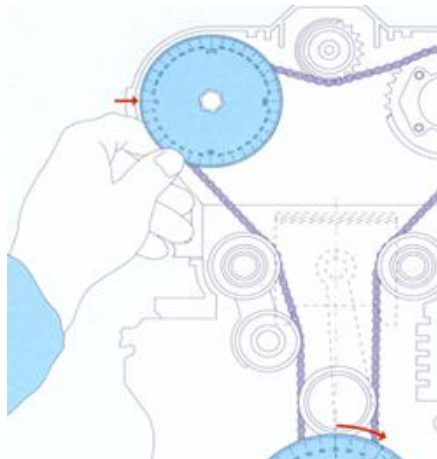


Figura 2.12: (Calaje del eje de levas mediante discos graduados)

7) En ese momento se debe colocar el árbol, de modo que la válvula comience a ser pisada.

8) Cuando ya se conoce la puesta a punto cigüeñal del árbol de admisión, hay que señalar exactamente su posición. Este se puede llevar a cabo mediante una marca en su elemento de accionamiento con relación al plano de la culata.

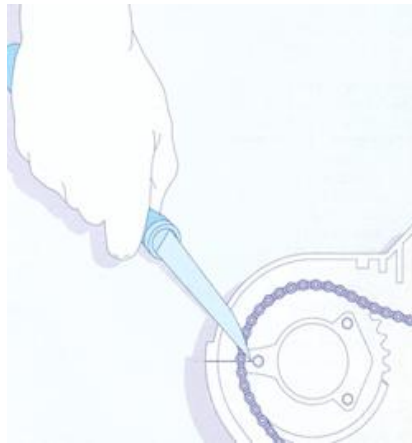


Figura 2.13: (Señalización en la culata de la Posición del eje de levas de admisión)

9) A continuación procedemos a repetir la misma operación con el árbol de levas de escape.

10) Una vez puesto a punto los árboles, hay que montar el sistema de transmisión y, posteriormente, comprobaremos que los períodos de admisión y escape, así como sus puntos característicos, son los correctos. Normalmente los sistemas de accionamiento tienen unos ciertos saltos debido a los dientes de transmisión.

11) Si el sistema de encendido dispone de regulación del avance a unos ciertos regímenes, se precisa una pistola estroboscópica para comprobar que se ilumina justo en el momento en el que las marcas del rotor que señalan el avance correcto, coinciden con las de referencia.

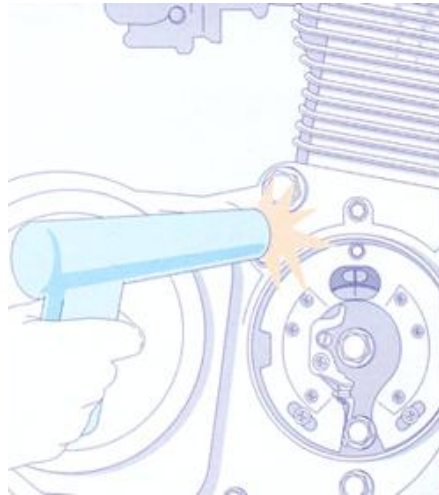


Figura 2.15: (Comprobación del avance al encendido mediante la lámpara estroboscópica)

2.5 ELEMENTOS INTERMEDIOS DE ACCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS

Como un ciclo de cuatro tiempos comprende dos revoluciones del cigüeñal y las válvulas no son accionadas en este ciclo mas que una vez, esto quiere decir que el árbol de levas debe girar con la mitad del número de vueltas del cigüeñal; la rueda del árbol de levas deberá por lo tanto poseer doble número de dientes en comparación con la rueda del cigüeñal.

Cada cilindro de un motor de cuatro tiempos tiene por lo menos una válvula de admisión y una de escape. Los diámetros del platillo de la válvula y la carrera de la válvula tienen que ser de magnitud tal que la resistencia opuesta a la corriente de gases frescos como a la de los gases quemados sea la menor posible.

Gracias a la elevada presión de los gases quemados al abrirse la válvula de escape, el vaciado rápido del cilindro se consigue en válvulas de escape de diámetro más pequeño. Los motores de alto rendimiento poseen a veces dos válvulas de admisión y dos de escape por cilindro.

Las válvulas están sometidas a sollicitaciones extremadamente altas. Se levantan aproximadamente 3000 veces por minuto y son impulsadas de nuevo a sus asientos por los resortes de válvulas; lo cual deriva en que el vástago y su extremo estén sometidos a desgaste. La válvula de admisión está refrigerada constantemente por los gases frescos de entrada, pero puede alcanzar temperaturas de hasta 500 grados centígrados.

La válvula de escape está sometida a temperaturas elevadas, debido a que los gases calientes de la combustión (hasta 800 grados centígrados en el platillo de la válvula) y a fuerte corrosión química. De acuerdo con las prestaciones necesarias, las válvulas de admisión y escape se fabrican de distintos materiales.

El calentamiento irregular y la deformación del platillo de válvula, los restos de combustión del aceite y de combustible en los asientos de válvula, sobre todo en las válvulas de escape, conducen fácilmente a fallos de hermeticidad e influyen en la vida de las válvulas.

Para tratar de mellar estos defectos existe un dispositivo de giro para las válvulas; este se compone de un cuerpo básico con varias bolas fresadas en sentido periférico en las cuales se comprime una bola de acero, mediante un pequeño resorte, contra el extremo superior de la pista inclinada de la bolsa.

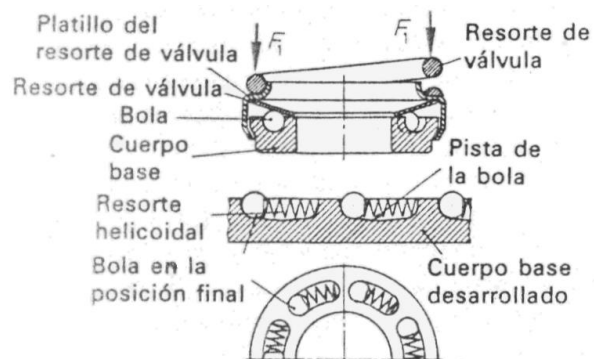


Figura 2.16: (Dispositivo de giro de las válvulas)

Las bolas están cubiertas por un muelle de disco, el cual se apoya en el borde interior del cuerpo base cuando la válvula está cerrada. Para guiar el resorte de válvula y para transmitir las fuerzas del mismo, se coloca una tapa sobre el muelle de disco.

Al abrir la válvula se tensa el resorte de válvula y debido a la creciente fuerza del mismo se aplasta el muelle de disco, haciendo presión sobre las bolas que se encuentran en las bolsas, y disminuyendo al mismo tiempo la presión en el borde del cuerpo base.

El muelle del disco obliga a rodar a las bolas sobre sus pistas inclinadas, rodando el mismo sobre las bolas. En cada carrera de la válvula, junto con el muelle de disco gira también un poco de la válvula, a través del resorte de la válvula y el platillo del mismo. Cuando la válvula está cerrada, se descargan el muelle del disco y la bola, con lo que éste se apoya de nuevo sobre el borde interior del cuerpo base y las bolas vuelven a su posición de partida sobre las pistas inclinadas, debido a los pequeños resortes, sin rodar y sin girar hacia atrás el muelle de disco¹¹.

Las guías de las válvulas se encuentran generalmente en las culatas de hierro fundido. En las culatas de aleación de aluminio, sin embargo, se montan a presión guías de válvulas de aleación de cobre fundido o hierro fundido especial. La obturación del vástago de válvula impide que el aceite del motor penetre en la cámara de combustión por la guía y a lo largo del vástago de válvula.

Las consecuencias de se desgaste o mal funcionamiento serían un mayor consumo de aceite y depósito de carbonilla. Los asientos de válvulas también se encuentran en la culata; y normalmente se tornear o se fresan en el material de aquella, sin embargo, en las culatas de aleación de aluminio y también en algunas de hierro fundido, se insertan a presión o por contracción anillo

¹¹ Tecnología del automóvil GTZ; Deutsche Gesellschaft, 20 Edición, p. 246.

fabricados de aleación de cobre y estaño, de acero de alta aleación al cromo-manganeso, y también de metal duro, con el fin de aumentar la resistencia del asiento de la válvula.

Los resortes de válvula tienen como misión mantener cerradas a las válvulas. Tienen que ser lo suficientemente fuertes para que el cierre se realice rápidamente y se eviten ampliamente las oscilaciones (ruidos de válvulas). Si son demasiado fuertes, aumentan el desgaste del platillo y el asiento de la culata. Como resortes de válvulas se utilizan los de tipo helicoidal.

Existen varias posibilidades para dotar al sistema de distribución de un mecanismo adecuado para poder transmitir el movimiento de las levas hacia las válvulas, los más utilizados son el sistema de balancines y el sistema de taqués; el cual posee la ventaja de conseguir una distribución sin juego. El taqué está compuesto por una válvula de bola con resorte y resorte compensador de juego.

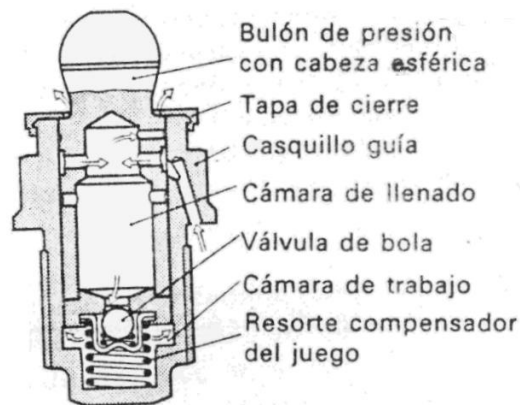


Figura 2.17: (Componentes de un taqué hidráulico)

Cuando el motor está en marcha, la bomba de aceite impulsa el aceite lubricante por un canal hasta el taqué, el aceite fluye por la cámara exterior del aceite (lubricación de taqués) hacia la cámara interior (lubricación del émbolo), y desde allí hacia el interior del émbolo. A través de un taladro de llenado llega el aceite hacia la cámara de presión, pasando por la válvula de bola (válvula de retroceso). El resorte de compensación del juego impulsa el émbolo hacia

arriba y evita de esta forma el juego de las válvulas. Cuando la leva levanta el taqué, entonces cierra la válvula de bola y el llenado de aceite en la cámara de presión actúa casi como una unión rígida. La dilatación térmica de las piezas de la distribución es compensada por la pérdida de aceite medida exactamente en el juego del émbolo. Cabe señalar que en el motor al cual está enmarcándose este proyecto posee taqués hidráulicos, los cuales por su masa provocan fuerzas de inercia elevadas.

Los balancines, que son palancas de dos brazos, invierten el movimiento de la carrera del árbol de levas en el vástago de válvula. Normalmente están apoyados en el eje de balancines por medio de casquillos de aleación de cobre y estaño. También pueden apoyarse en el centro de rotación con una cazoleta sobre el bulón del balancín. Para el ajuste del juego de válvulas, los balancines poseen una tuerca con autoblocante sobre el bulón del balancín. Generalmente los balancines están hechos de acero forjado en estampa, o de chapa estampada. Las superficies de deslizamiento están templadas.

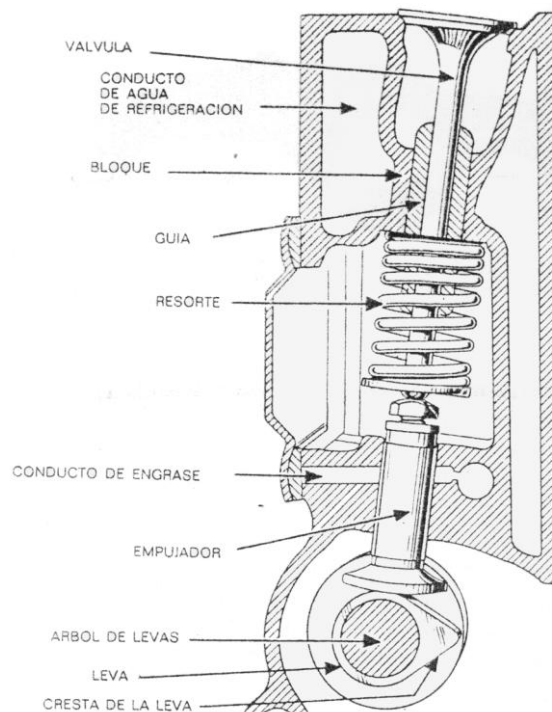


Figura 2.18: (Principales elementos de accionamiento de las válvulas)

El árbol de levas tiene la misión de efectuar el movimiento de la carrera de las válvulas en el momento correcto y en el orden debido. El instante de la abertura y cierre viene determinado por la posición de la leva; el tiempo que está abierta, la magnitud de la carrera de la válvula y el desarrollo de movimientos de abertura y cierre están determinados por la forma de la leva.

En el caso de una leva plana oval, la válvula se levanta y se cierra despacio, estando breve tiempo completamente abierta. Con una leva más empinada, llamada también leva en punta, la válvula se abre y se cierra más rápidamente, estando más tiempo completamente abierta. Pero puesto que con estas levas, las fuerzas de aceleración generadas y el desgaste de las mismas son mayores, sólo se emplean en motores de alto rendimiento para mejorar el intercambio de gases. A menudo las levas son asimétricas. La parte plana provoca una abertura lenta, mientras que la parte de mayor pendiente hace posible un mayor tiempo de abertura y un cierre rápido.

Generalmente los árboles de levas son de fundición dura en coquilla, de fundición gris o grafito esferoidal, de fundición maleable negra o de acero cementado; Otras veces son de acero forjado. Para aumentar la resistencia al desgaste, las superficies de levas y puntos de apoyo se templean superficialmente, excepto las de fundición en coquilla.

Los árboles de levas giran sobre los cojinetes de fricción, que tienen la forma de soportes colocados en la culata, o bien son taladros de apoyo hechos en la culata, y también pueden estar en alojamientos propios sobre la misma.

El accionamiento del árbol de levas es por el cigüeñal, a través de ruedas de cadena y una cadena de rodillos, ruedas dentadas y cadenas dentadas, o por ruedas y correas dentadas. También puede accionarse por ruedas cilíndricas con dentado inclinado, por varillas de empuje o por el árbol principal¹².

2.6 ESTUDIO DE SOFTWARE

¹² Tecnología del automóvil GTZ; Deutsche Gesellschaft, 20 Edición, p. 248.

2.6.1 Tabulación de fórmulas de diseño geométrico en MathCad

Mathcad es un entorno de documentación técnica con prestaciones de cálculo numérico y simbólico, que permite explorar problemas, formular ideas, analizar datos, modelar y chequear escenarios, determinar la mejor solución y finalmente documentar, presentar y comunicar los resultados.

Mathcad es una herramienta técnica de gran flexibilidad que incorpora todas las funcionalidades de interactividad propias de las hojas de cálculo, una gran potencia debida a su extensa librería de funciones y una completa integración con muchas de las herramientas utilizadas en ingeniería (Excel, AutoCAD, MATLAB, Visio, ODBC, etc.). Sus prestaciones de documentación técnica, junto con una notación matemática clásica, permiten que los cálculos sean auto-documentados y ahorrar así mucho tiempo al ingeniero a la hora de crear informes técnicos sobre los cálculos realizados para poder ser presentados.

Mathcad incorpora además un conjunto de herramientas software adicionales que le permiten realizar simulación de sistemas dinámicos, CAD 2D paramétrico y gráficos técnicos.

2.6.2 Simulación del diseño en Solidworks

Solidworks es una solución completa de los sistemas CAD en 3D que proporciona a equipos de diseño todas las herramientas de ingeniería de diseño, gestión de datos y comunicaciones que se necesitan en un solo paquete.

El software de CAD en 3D SolidWorks es una aplicación con la que se puede diseñar mejores productos pues permite en diseño trabajar de una manera más rápida y productiva. Cada versión del software ofrece innovaciones líderes en el sector, así como cientos de mejoras derivadas de las solicitudes de nuestros clientes. Gracias a ellas, la organización creadora del paquete de diseño obtiene una ventaja competitiva.

Mediante las herramientas de simulación de estados, como el COSMOS Xpress se pueden probar los diseños de piezas de una forma rápida y sencilla con un asistente integrado para análisis de tensiones que funciona con sólo seleccionar el elemento a ser analizado. Mediante el COSMOS Works Designer podemos mejorar la seguridad y la calidad de los diseños probando los modelos de CAD en 3D en condiciones reales con un software de análisis de diseño creado para quienes no sean especialistas en la materia. Además mediante el COSMOSMotion se puede mejorar la calidad y precisión del diseño con un software de prototipado virtual que le permite simular el movimiento con facilidad.

2.6.3. Lenguaje CNC

Existen varios lenguajes CNC de la herramienta de construcción LEADWELL, los cuales se denominan con numeración predeterminada. EL formato 1 es el tipo de programación de LEADWELL y de funcionamiento de la máquina. El formato 1 fue diseñado de forma exclusiva para tener el reset del control CNC antes de reanunciar el funcionamiento de la máquina. Cuando el control CNC está en formato 1 el programador puede programar con un mínimo de comandos. Esto ayuda al programador, en la actualización y en el funcionamiento. Algunos códigos son exclusivos para el FORMATO 1 y el FORMATO 2. El listado en este capítulo son los ejemplos para cada estilo de formatos de programación.

El formato 2 permite el tipo de programación 6M/ 10M /11M y de funcionamiento de la máquina. El formato 2 permite al programador el completo control de la máquina CNC. Por esta razón todos los resets debe hacerlos el programador en el programa y en el funcionamiento de la máquina. Algunos códigos son exclusivos del FORMATO 2 y FORMATO 1. El listado en este capítulo son los ejemplos para cada estilo de formatos de programación.

Cuando el control está en FORMATO 2 resulta obligatorio programar todos los códigos preparatorios. El comando SETP se usa normalmente en fábrica y con

la actualización por la persona que instala la máquina. También puede usarlo el cliente para hacer la programación y fijar sus preferencias de velocidad en baudios y de salida.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE VARIACIÓN DEL PERFIL DE LAS LEVAS

3.1 DEFINICIÓN DE REGÍMENES DE TRABAJO

Cada motor de combustión interna posee distintos parámetros de desempeño, en función a que prestaciones el motor se ha diseñado. Así por ejemplo, podemos tener distintas clasificaciones de cada tipo de motor de acuerdo al torque y potencia máximos de cada uno, y a que número de revoluciones se presentan los mismos. Para poder definir adecuadamente a cada motor en base a sus dos principales parámetros (potencia y torque) cada motor posee curvas características mediante las cuales se indica, en función de la velocidad de rotación del motor; la potencia, el par y el consumo específico del mismo.

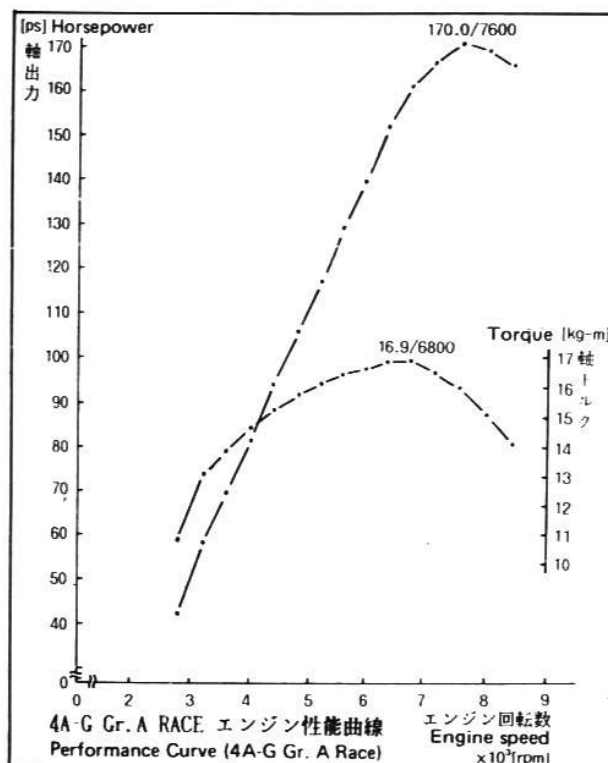


Figura 3.1: (Curvas de Desempeño del Motor 1600 GT (Grupo A) con Eje de Levas de Pista)

También mediante estas curvas podemos conocer los rangos de funcionamiento de acuerdo a sus revoluciones máxima y mínima; las mínimas revoluciones en un motor estándar vienen dadas por cual será la marcha mínima de funcionamiento, esta depende de cuales pueden ser las revoluciones mas bajas en las que el motor puede permanecer funcionando establemente tomando en cuenta los elementos que generan carga, por ejemplo, un motor montado en un automóvil con la posición de embrague en la caja de cambios, debe ser capaz de poder desplazar todos sus componentes móviles con el mínimo de entrada de aire (aleta de aceleración totalmente cerrada) y manteniendo un desempeño estable.

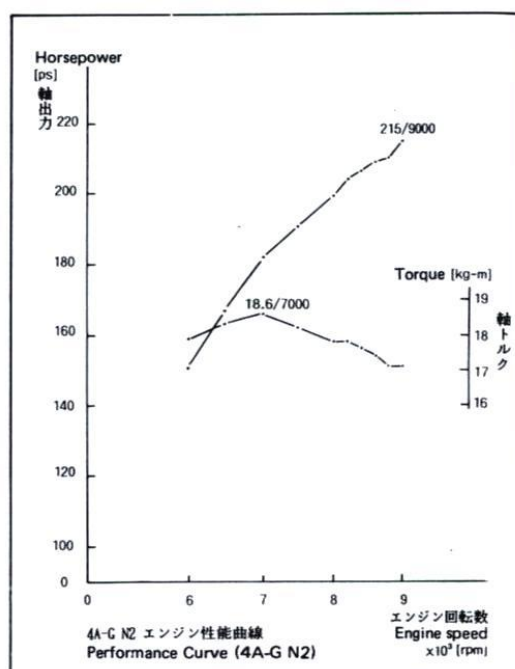


Figura 3.2: (Curvas de Desempeño del Motor 1600 GT (N2) con Eje de Levas de Pista)

En cambio, las máximas revoluciones a las que un motor puede desempeñarse dependen de varios factores de diseño, entre los cuales están principalmente la restricción de movimiento en los resortes de válvulas, los cuales poseen una

frecuencia natural que nos restringe velocidades y aceleraciones de cierre y apertura de válvulas; además a altas revoluciones, pese a los adelantos y retrasos de cierre y apertura de válvulas, llega un instante en el cual la cantidad de aire que ingresa hacia los cilindros empieza a ser insuficiente y genera un decrecimiento en la curva de potencia, por lo cual ya no resulta práctico diseñar al motor para que funcione a revoluciones muy superiores a este punto. Además también dependerá de los materiales de cada una de las partes del motor y sus resistencias mecánicas y dinámicas; las cuales restringen el diseño y enmarcan a construir cada motor de acuerdo a sus criterios específicos de desempeño.

En las curvas características, la de potencia crece progresivamente casi constante hasta un valor determinado que indica su valor máximo, después decrece rápidamente hasta el límite máximo de utilización del motor. El descenso de potencia, más allá de lo señalado en el párrafo anterior se debe a la disminución del rendimiento volumétrico del motor.

La curva de par del motor no es tan pronunciada como la de potencia, es decir, tiende a ser más horizontal, pero sin perder su concavidad. También crece al aumentar las revoluciones del motor pero su progresión es menor. El par máximo se encuentra a un menor nivel de revoluciones que la potencia máxima pero a la vez el decrecimiento del par es mucho más lento al aumentar la velocidad de giro. La elasticidad de un motor se conoce como el intervalo entre el par máximo del motor y su potencia máxima.

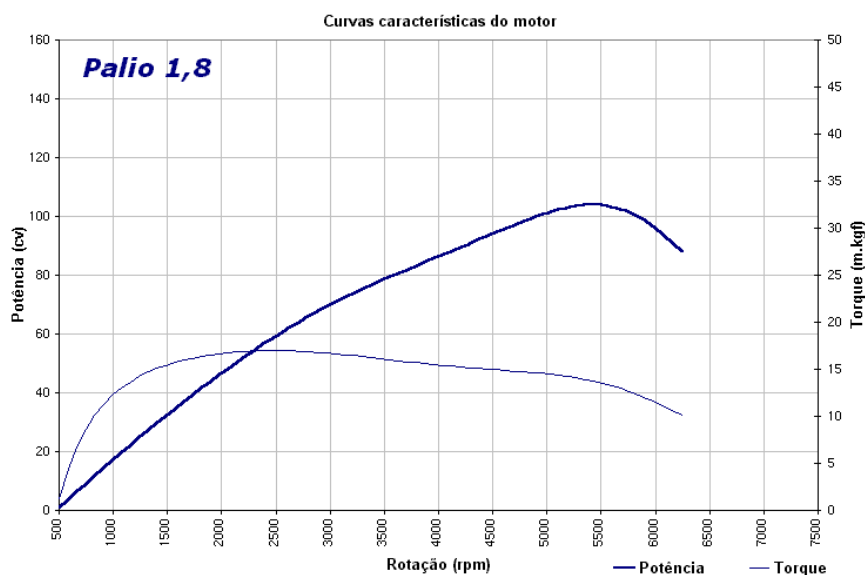


Figura 3.3: (Curvas de desempenho del Fiat Palio 1.8)

Centrándonos específicamente en nuestro motor, el Chevrolet Alto posee un motor de bajo consumo de combustible, que lo clasifica entre motores de alto desempeño en función de número de kilómetros recorridos por galón, además al ser un automóvil de dimensiones reducidas, logramos que el peso del mismo disminuya y por ende reducimos el valor de todos los parámetros de desempeño para el motor. A continuación analizaremos mediante la siguiente tabla algunos elementos de configuración:

Tabla 3.1: (Parámetros técnicos del motor K10A DOHC del Chevrolet Alto)

Motor

General	Tipo	K10A DOHC
	Posición	Transversal
	Desplazamiento	996 CC
	No. Cilindros	4 en línea
	No. Válvulas	16
	Alimentación	SFI (MPFI Secuencial)
	Diámetro por carrera	68 * 6.6mm.
	Potencia Neta	65 Hp @ 6500 rpm

	Torque neto (Din)	8.3 Kg- M @ 3500 rpm
	Relación de compresión	10,0 : 1
	Gasolina	Super
	Velocidad máxima	155 Km/h
Sistema de Encendido	Distribuidor	Con encendido Electrónico
Sistema de Combustible	Bomba de gasolina	Eléctrica
	Filtro de aire	De papel reemplazable
	Filtro Combustible	De papel reemplazable
Filtro de aceite		Flujo completo reemplazable

Los principales elementos para darnos nuestros lineamientos sobre los regímenes de giro son la potencia y el torque, a los cuales debemos analizar independiente y detenidamente.

La potencia máxima en el motor K10A DOHC del Chevrolet Alto se da al máximo número de revoluciones que puede y debe girar, este particular caso permite que el rango de funcionamiento del motor se da en la parte de la curva de potencia donde solo existe crecimiento de la misma, lo que nos permite aprovechar al máximo toda la producción de potencia posible.

Uno de los principales elementos por el cual los diseñadores pudieron obtener este particular desempeño es por el diseño de punta de los perfiles de levas en los ejes, el cual posee flancos de las levas muy pronunciados y la cresta de la leva muy pequeña, lo cual optimiza el tiempo de alzada máximo de la válvula, además este tipo de diseño en la leva no nos permite utilizar balancines, ya que estos no soportarían el régimen de trabajo a altas revoluciones por el singular perfil de las levas, así que el motor fue diseñado con propulsores hidráulicos que transmiten el movimiento directamente desde la leva hacia la válvula.

Mediante la siguiente figura podremos apreciar la mayoría de los sistemas del motor, entre ellos el sistema de distribución del motor K10A DOHC del Chevrolet Alto con propulsores hidráulicos.

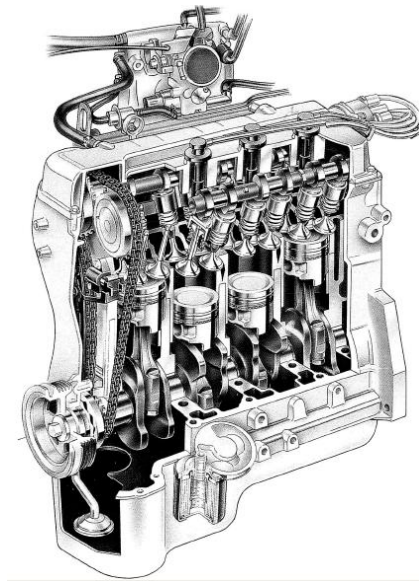


Figura 3.4: (Esquema en corte del motor K10A DOHC del Chevrolet Alto)

En conclusión, con los datos investigados del motor del Chevrolet Alto, podemos definir nuestros regímenes de giro en los cuales vamos a realizar la modificación. Primero centraremos nuestra modificación dentro del rango de elasticidad del motor, la misma que se conoce como el intervalo entre el par máximo del motor y su potencia máxima. Concluimos también centrar nuestras modificaciones en el torque del motor, ya que la potencia se encuentra a elevadas revoluciones, lo cual nos impide realizar modificaciones sin cambiar ciertas partes del motor para que puedan tener un buen desempeño y fiabilidad.

3.2 EL PERFIL DE LAS LEVAS Y SU IMPORTANCIA EN LOS MOMENTOS DE APERTURA Y CIERRE DE LAS VÁLVULAS

El perfil de las levas es lo que regula la velocidad de la apertura de las válvulas, el tiempo de permanencia de la válvula abierta, la altura de levantamiento y la velocidad de cierre, lo que le hace influir directamente en el rendimiento, potencia y torque del motor. La determinación del diagrama de distribución está

en función del perfil de la leva, ya que como hemos dicho, controla los tiempos en que se abren y cierran las válvulas.

Por lo que para el mejoramiento de los factores que influyen en el performance de un motor, es decir: potencia, torque y velocidad de giro, nos veremos obligados a modificar el perfil de las levas.

En la siguiente figura mostramos el perfil clásico de una leva para un motor de combustión interna de 4 tiempos, con la que se tiene que emplear un empujador plano. También sus partes, “en primer lugar se tiene una parte circular que la denominaremos *circulo primitivo*, que corresponde a la parte del perfil en donde la válvula permanece cerrada; luego se encuentran dos arcos de círculo de gran radio que se denominan *flancos*, y se cierra el perfil con otro arco de radio más pequeño que se llama *cresta o nariz de la leva*.”¹³

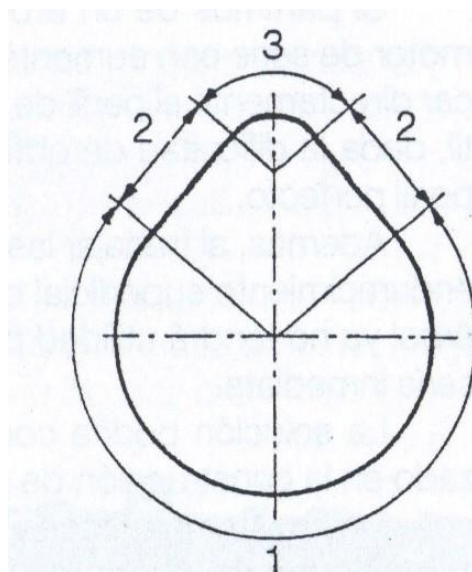
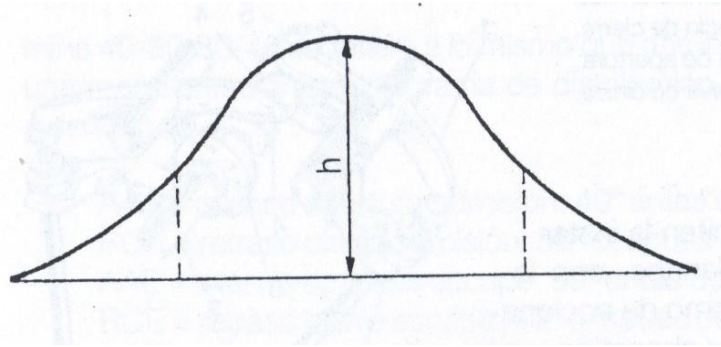


Figura 3.5: (Perfil clásico de una leva para un motor de combustión interna de 4 tiempos)

Siendo así, la distancia entre el círculo base y el punto más separado de la nariz, determinará el levantamiento máximo de la válvula. El levantamiento de

¹³ Preparación de motores de competición; Luís Ruigi, p. 196-197

la válvula correspondiente al perfil descrito en la figura anterior, se muestra en el siguiente gráfico:



**Figura 3.6: (Gráfico del movimiento del levantamiento de una leva
h: altura máxima obtenida para la leva)**

En el gráfico podemos observar que el ángulo de apertura de la válvula en el diagrama de distribución corresponde al doble del ángulo de giro de la leva entre los dos puntos de arranque de los flancos θ_1 y θ_2 . Esto lo podemos notar, ya que en el gráfico constan los ángulos de giro del cigüeñal sobre el eje horizontal, siempre teniendo en cuenta que los ejes de leva giran a una velocidad mitad que el cigüeñal.

El perfil de los flancos determina la zona de aceleración en el momento de apertura de la válvula y de deceleración en el momento de cierre, y el perfil de la cresta, que el gráfico indica en su parte superior que corresponde a la deceleración durante la apertura de la válvula y la aceleración durante el cierre.

En la práctica y en nuestro proyecto, donde en el accionamiento de las válvulas intervienen taqués hidráulicos; a lo que hemos denominado círculo primitivo o de base, se le rebaja cierta cantidad; la necesaria para compensar el juego de taqué y permitir el cierre de la válvula cuando el motor haya alcanzado la temperatura de funcionamiento. Dicho círculo lo llamamos círculo reducido y se une con el perfil de los flancos mediante una espiral, denominada rampa de ataque.

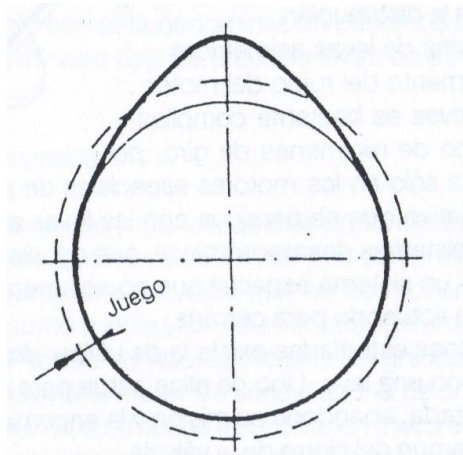


Figura 3.7: (Perfil de una leva, teniendo en cuenta el juego de taqué)

La modificación en el perfil de las levas significa que podremos cambiar el inicio de la apertura de la válvula y el final del cierre de la misma. Por lo que, éste incremento permite abrir las válvulas un mayor tiempo que el que se tiene normalmente en un motor estándar.

Así también las crestas de las levas pueden ser modificadas en su forma, teniendo levas más puntiagudas, redondeadas o mixtas; según el diseño y el desempeño que se desee obtener.

En levas que son más redondeadas se tiene un desplazamiento más armónico, menos brusco el empuje de las válvulas, pero si las levas son más puntiagudas se obtendrá un ataque más agresivo en el accionamiento de las válvulas y una mayor reacción por parte del motor.

En el afán de generar motores más potentes, se han combinado estas dos formas de modificación en los perfiles de las levas, haciendo un levantamiento progresivo y un cierre violento, o un levantamiento violento y un cierre progresivo como lo indicaremos en la siguiente figura.

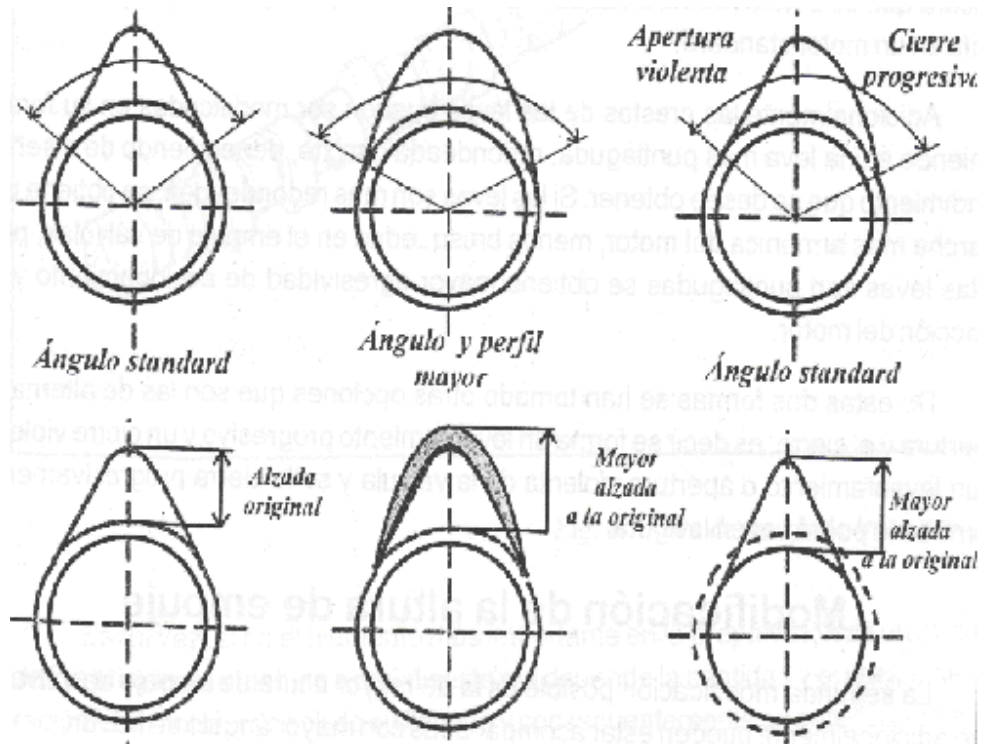


Figura 3.8: (Tipos de variación en los perfiles y ángulos de las levas)

A más de la variación en las crestas de las levas, se puede modificar (aunque no necesariamente) la altura de empuje de las válvulas, que también incluyen un mayor ángulo de ataque por parte de la leva. Con esta modificación se logra que las válvulas se abran a más de la altura original, logrando con ello un mayor llenado del cilindro en lo que se refiere a las válvulas de admisión, y una mayor evacuación de los gases quemados en el caso de las válvulas de escape.

De esta manera, lo que se logra con la modificación en el perfil de las levas es una incremento en el llenado del cilindro, aumentando la potencia del motor y también las revoluciones de giro, con cierto inconveniente en la falta de torque y la inestabilidad en bajas revoluciones, por lo que la variación en el perfil de las levas en nuestro motor mantendrá en lo posible un régimen estable.

3.3 LEVAS SIMÉTRICAS

Las levas que tienen el trazado indicado anteriormente se las denomina levas simétricas ya que tienen el mismo patrón en ambos contados (flanco de cierre y flanco apertura) haciendo que el movimiento del empujador sea armónico por lo que también se las denomina "*levas de perfil armónico*".

En estas levas, la acción de las partes de los flancos es sobre el empujador y por ende a la válvula, proporcionando un movimiento de aceleración constante positiva, mientras que la cresta de la leva proporciona un movimiento de aceleración negativa. La velocidad máxima que alcanza la válvula en su apertura y cierre se producen en los puntos de enlace entre los flancos con la cresta.

Por lo que a regímenes bajos de rotación del motor, las levas simétricas o de perfil armónico dan resultados muy satisfactorios, que a más de eso, su facilidad de cálculo y diseño, han sido muy utilizadas en los motores de combustión interna.

Pero lo dicho, se cumple cuando los regímenes de giro son bajos, por lo que cuando se ha aumentado las revoluciones se han producido muchos problemas relacionados en especial con la inercia de las válvulas o con el tren de accionamiento de las mismas así como la deformación elástica de éste.

Para poder resolver estos problemas se han diseñado perfiles probados como el de las levas simétricas o de perfil armónico, también levas asimétricas, e incluso para gran desempeño, levas polinómicas.

También se incluyen factores como la velocidad de deslizamiento y de rodadura entre la leva y el empujador, que causan también complicaciones a la hora de diseñar el perfil de una leva que de satisfacción a altos regímenes de giro del motor.

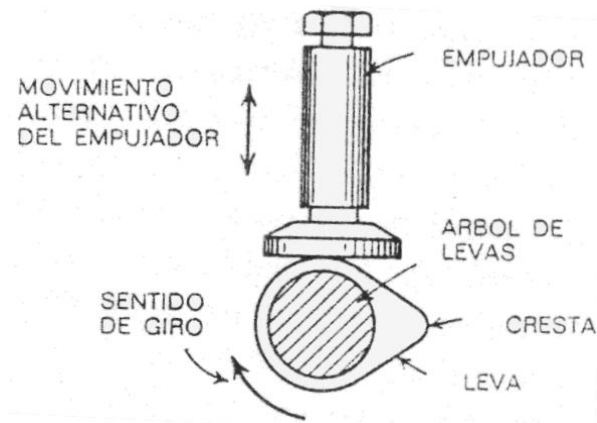


Figura 3.9: (Leva simétrica con taqué o empujador y sus respectivos movimientos)

3.4 LEVAS ASIMÉTRICAS

Se refiere a aquellos perfiles donde los flancos y cresta de la leva no son simétricas con respecto a la línea central del lóbulo como se muestra en la figura. La razón de que algunas levas cuenten con esta forma, está en lograr un flanco de apertura que eleve la válvula rápidamente, y un flanco de cierre que lleve lentamente la válvula a reposo.

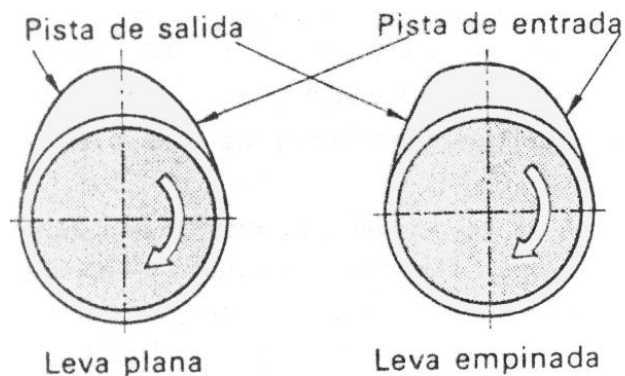


Figura 3.10: (Perfiles Asimétricos en levas de alto rendimiento)

A fin de obtener un movimiento más controlado de las válvulas y una dinámica de las mismas que satisfaga las necesidades de paso más rápido de los gases, se han diseñado y construido levas con un perfil asimétrico. El empleo de estas levas asimétricas en motores de competencia, beneficia considerablemente la

respiración de los motores, ya que permiten un cierre rápido de las válvulas con la menor pérdida de carga en el cilindro a través del escape en los momentos de cruce; que para dichos motores son de valor muy elevado de traslape. Las levas asimétricas permiten la instalación de resortes más blandos, con lo que se ve beneficiado el accionamiento de las válvulas y una menor pérdida de potencia en la zona de distribución.

Pero así mismo, las levas asimétricas hacen que el motor tenga un considerable ruido, a más que el diseño y construcción de estas levas sea bastante difícil para todo tipo de regímenes de giro, por lo que, éstas son adoptadas solo en motores de alta competición.

3.5 LEVAS DE ADMISIÓN

Las levas de admisión, como su nombre lo indica son aquellas que permiten la apertura y cierre de las válvulas de admisión. Sean las levas de admisión contenidas en el mismo u otro eje de levas; su función no cambia.

Entre el funcionamiento de un motor de combustión interna se considera generalmente a las levas de admisión simétricamente iguales a las de escape, pero siempre existen sus excepciones, pero para nosotros no es el caso, nuestras levas son simétricamente iguales.

Una leva de admisión es parte fundamental dentro del proceso de cuatro tiempos del motor, determinando el tiempo en que la válvula de admisión esté abierta para el ingreso de la mezcla aire combustible, como el tiempo en que la válvula demora en cerrarse en el tiempo compresión de la mezcla, tiempo de trabajo del motor y tiempo de escape; así mismo en su giro interviene en el traslape o cruce de válvulas.

Como habíamos dicho antes, al ser el diseño de las levas de admisión iguales a las de escape, estamos hablando de una leva que posee un *patrón simple*, caso contrario se tiene un *patrón dual*.

Teóricamente en un motor de cuatro tiempos, la válvula de admisión se abriría en el punto muerto superior (PMS) y se cerraría en el punto muerto inferior (PMI), mientras que la válvula de escape se abriría en el PMI de la revolución sucesiva y se cerraría en el PMS, justo cuando se abriría la válvula de admisión nuevamente. En realidad no sucede esto, sino que estos puntos de apertura y cierre de las válvulas se corrigen para mejorar el funcionamiento del motor.

El avance y el retraso de la apertura y cierre de las válvulas se puede medir en ángulos de rotación del CIGÜEÑAL, con respecto a la posición de la manivela de la biela según donde estén los puntos muertos superior e inferior.

Y se establecen los ángulos que ya conocemos, que son:

- AAA: Angulo de avance en la apertura de la admisión con respecto al PMS.
- RCE: Angulo de retraso en el cierre de la válvula de escape con respecto al PMS.
- RCA: Angulo de retraso del cierre de la válvula de admisión con respecto al PMI.
- AAE: Angulo de avance de la apertura de la válvula de escape con respecto al PMI.
- ANGULO DE TRASLAPE: Angulo durante el cual ambas válvulas permanecen abiertas al mismo tiempo.

El avance de la apertura de la válvula de admisión permite que ésta ya este abierta en el PMS, que es cuando el pistón inicia su carrera descendente para realizar la admisión de la mezcla.

Es decir, es un tiempo angular que nos tomamos para adelantarnos, ya que la válvula no se abre instantáneamente, y de esta forma logramos que nuestra válvula ya haya alcanzado al menos un 70% de su carrera de apertura en el momento que el pistón se le ocurra empezar a bajar, esto nos dice que mientras mas suave sea la cresta de la leva, mas tiempo deberá anticiparse y viceversa.

De manera similar, un ligero retraso del cierre de la válvula de escape permite aprovechar la carrera del pistón ascendente y llegar al PMS con la válvula de escape todavía completamente abierta. Por tanto es la coordinación entre las levas de admisión con la de escape, es lo que efectúa los tiempos de trabajo en un motor de combustión interna, y la modificación de éstas nos permitirán un mayor rendimiento del motor a mayores regímenes de giro.

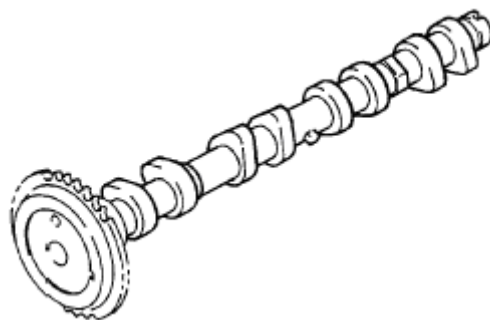


Figura 3.11: (Árbol de Levas de Admisión Chevrolet Alto 2003)

3.6 LEVAS DE ESCAPE

La leva de escape, particularmente tiene la misma función que la de admisión; pero, en nuestro caso, la trataremos independientemente, ya que al ser un motor con DOHC (doble árbol de levas en culata por sus siglas en inglés), tiene un eje tanto para admisión como para escape.

Las levas de escape se coordinan con la de admisión para dejar escapar los gases quemados que por lo general son de muy parecida configuración que la de admisión, Al cambiar los tiempos de admisión el motor necesita mas tiempo para su ciclo de admisión por eso cuando escuchamos los autos que poseen motores modificados, tienen el aspecto de querer apagarse y obviamente es a causa de que están equipados con árboles modificados, lo que permite un árbol de levas es aumentar el régimen de giro del motor con lo que se logra

hacer mas cantidad de aire-combustible en menos tiempo, que es la base de la preparación de motores de competición.

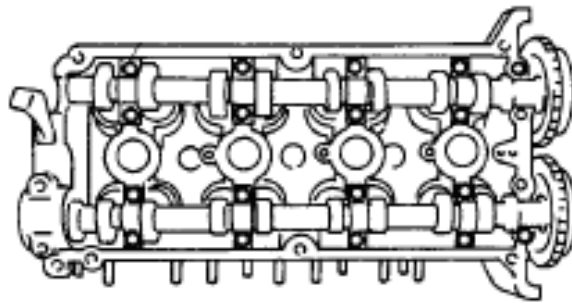


Figura 3.12: (Ejes de levas del Chevrolet Alto 2003 instalados en la culata)

En la fase de expulsión de los gases, aunque la válvula de escape es de menor sección que la de admisión, suele hacerse simétrica en su diagrama a la de admisión. No obstante en algunos casos son extremadamente diferentes, teniendo un diagrama para admisión y otro para escape.

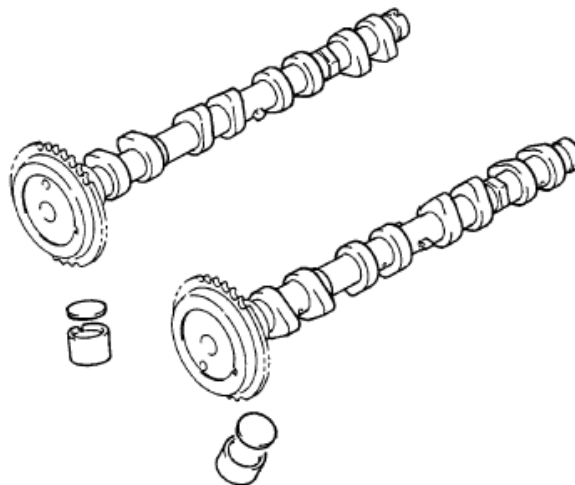


Figura 3.13: (Árbol de levas de Admisión y Escape, Chevrolet Alto 2003)

3.7 ÁNGULOS DE APERTURA Y CIERRE DE LAS VÁLVULAS SEGÚN DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN

Al no poseer datos acerca de los adelantos y retrasos de apertura y cierre de válvulas, debemos realizar la toma de los mismos en el motor, por lo cual se realizó pruebas para determinar el método mediante el cual poder obtener todos los datos geométricos correspondientes, y además cuales serían los datos necesarios para determinar el comportamiento del árbol de levas en el motor. El procedimiento que realizamos requiere de un reloj palpador con su respectiva extensión, un puntero, una palanca y un disco graduado. Lo primero que se realizó fue la obtención del punto muerto superior del primer pistón del motor, el cual es el que está más cercano a la cadena de distribución, de la siguiente forma:

1) Una vez desmontado el tapa válvulas, procedemos a quitar todas las bujías del motor, para poder mover más fácilmente los elementos móviles sin que exista la acumulación de aire en las cámaras de los cilindros, luego procedemos a girar la polea del cigüeñal siempre en sentido horario, ya que debemos seguir el sentido de giro, pues existe la posibilidad de que el templador de la cadena de distribución que funciona hidráulicamente, deje de tener presión y disminuya el nivel de tensión en la cadena, lo cual puede producir fallos en las mediciones de los ángulos de giro.

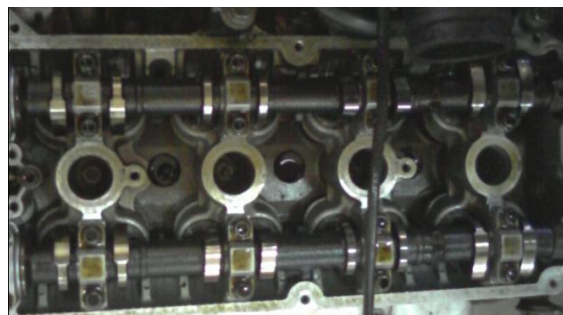


Figura 3.14: (Ejes de levas estándar instalados en la culata del motor RA 410 DOHC)

2) Luego instalamos un reloj palpador en el agujero de la bujía del primer cilindro; movemos el árbol de levas y nos guiamos mediante los perfiles de las levas hasta acercar al pistón del primer cilindro al punto muerto superior

en el periodo de compresión, luego ajustamos el reloj palpador y su vástago para que mediante ellos podamos apreciar cuando el pistón deje de subir (PMI – PMS) y comience a bajar (PMS – PMI)



Figura 3.15: (Instalación del palpador en el primer cilindro)

3) Una vez que determinamos mediante el reloj palpador el punto exacto en donde se encuentra al PMS del primer pistón, comprobamos nuestra medición con la señal que se encuentra en la polea del cigüeñal.



Figura 3.16: (Verificación del punto muerto superior con las marcas en la polea del cigüeñal)

Una vez concluido la obtención exacta del PMS del primer cilindro en el ciclo de compresión, procedemos a instalar el disco graduado en la polea del cigüeñal, coincidiendo el cero del disco graduado con el puntero que deberá ser fijado al

bloque del motor. Señalamos además el PMS en los cero grados del disco graduado, y el PMI en los 180 grados. No debemos olvidar la relación de giro entre el cigüeñal y el eje de levas, pues como el ciclo de los cuatro tiempos del motor se da en dos giros del cigüeñal, el árbol de levas debe girar solo una vez, con lo que podemos deducir que por cada dos giros del cigüeñal, al árbol de levas gira una vez.

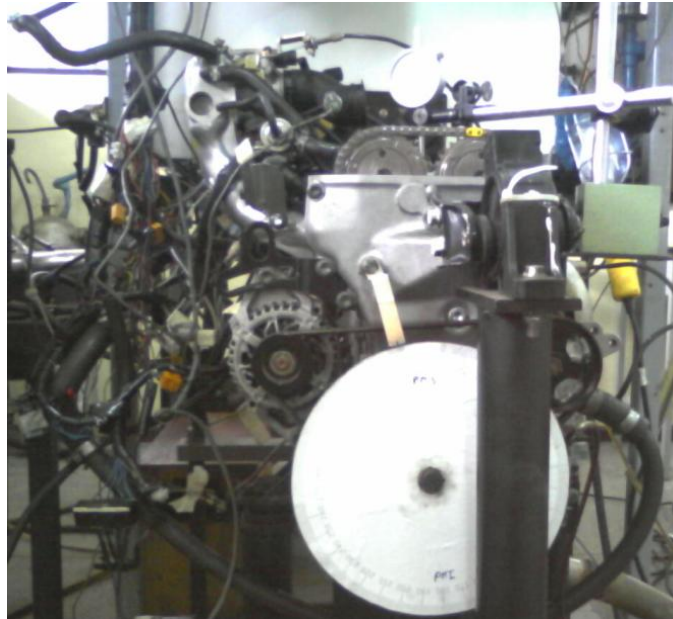


Figura 3.17: (Instalación del disco graduado y del puntero en la polea del cigüeñal)

Una vez instalado el disco graduado y montado el puntero en el bloque del motor, procedemos con las mismas precauciones en el giro, a tomar los datos del ángulo de ataque de las levas, que es el periodo que la leva se encuentra abierta, ya que la leva mediante su perfil se encuentra empujando al propulsor, y este a su vez transmite el movimiento a las válvulas de admisión y escape. Nuestra hipótesis radica en que las levas en su perfil de admisión y escape poseen el mismo perfil, por lo cual debemos realizar las mediciones del ángulo de ataque en los dos ejes de levas, con similar método. El procedimiento es el siguiente:

4) Se debe instalar el empujador del reloj palpador en la superficie de la leva, entonces para el efecto giramos el cigüeñal hasta que la leva no esté atacando

al taqué, luego verificamos que el largo del empujador sea lo suficientemente largo para que pueda abarcar todo el perfil de la leva.

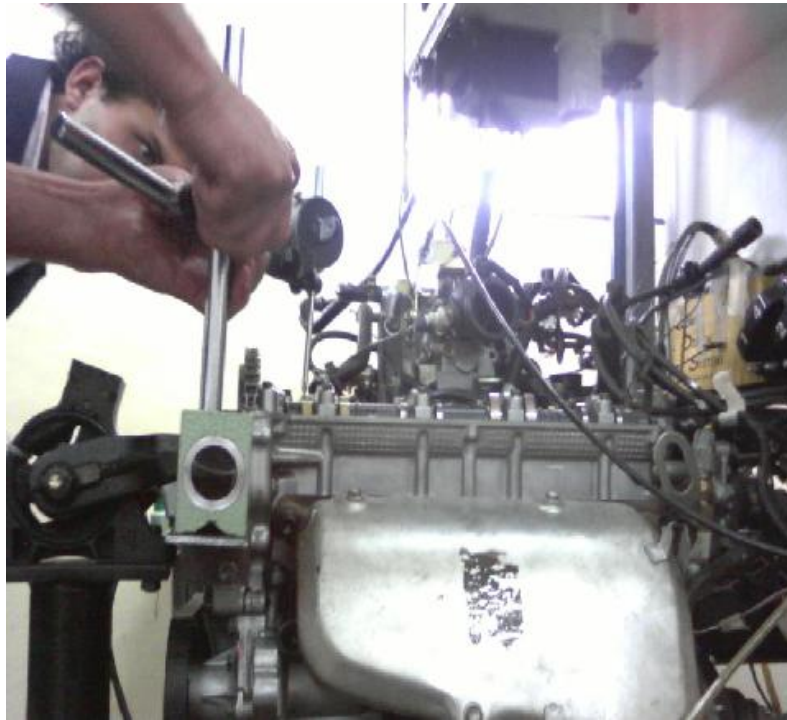


Figura 3.18: (Instalación del palpador en el perfil de la leva)

Giramos el árbol de levas despacio e inspeccionamos el momento en el cual el palpador empiece a marcar el punto en el que la pista de la leva deje de pertenecer al círculo primitivo y empiece a ser parte del flanco de la leva, cuando esto sucede anotamos los grados señalados en el disco graduado; luego giramos al sistema de distribución en sentido horario, hasta llegar al punto en el cual la aguja del palpador deje de moverse; este será el momento en el cual la pista de la leva se encuentra de nuevo en el círculo primitivo.



Figura 3.19: (Ubicación en la pista de la leva del círculo primitivo)

Una vez señalado el círculo primitivo debemos anotar el ángulo indicado en el graduador de la polea del cigüeñal. Para cada toma de datos de los dos puntos donde inicia y finaliza el círculo primitivo, realizamos tres mediciones para confirmar los valores que obtuvimos mediante este procedimiento; el cual se realiza de igual manera tanto para el eje de levas de admisión como para el eje de levas de escape. Con los resultados obtenidos hacemos una gráfica en coordenadas cartesianas de los promedios de los dos ángulos de círculo primitivo y obtenemos el valor del ángulo de ataque de los ejes de levas. El ángulo de ataque de la leva no es más que el ángulo en el cual la leva está actuando sobre el taqué, y por ende sobre la válvula.

Cabe señalar que la medición que realizamos en primera instancia se hace sin tomar en cuenta el juego que existe entre el taqué y el perfil de la leva; el cual permite a los elementos funcionar correctamente a la temperatura de funcionamiento, por la dilatación térmica de los mismos. Por este motivo se debe realizar una segunda medición del ángulo primitivo y el de ataque de la leva pero tomando en cuenta esta holgura.

Cuando el sistema de distribución del motor dispone de balancines, estos poseen una holgura que debe ser calibrada según lo dispuesto en los

mantenimientos para el motor, en el caso de nuestro motor está holgura solo debe ser controlada mediante un calibrador de galgas para comprobar que no existan deformaciones o irregularidades entre el taqué y la leva. Según el manual de servicio del motor K10A DOHC la holgura a ser medida entre el árbol de levas de admisión y los taqués es de 0,15 mm y entre el eje de levas de escape y los taqués es de 0,18 mm.

Con los datos de las holguras respectivas de cada árbol de levas podemos hacer el segundo procedimiento; para el efecto ponemos las galgas con la medida respectiva y con el mismo proceso descrito anteriormente entre el perfil de la leva y el reloj palpador, luego procedemos a girar el árbol en sentido anterior y volvemos a tomar los datos del disco graduado ubicado en la polea del cigüeñal, en los cuales la aguja del palpador comienza señalar contacto con la leva, y la segunda medida cuando la aguja del palpador nos indica que dejó de existir contacto entre el palpador y la pista de la leva. El procedimiento entre el eje de levas de admisión y escape varía solamente en la medida señalada por el fabricante, la cual debemos poner entre el palpador y la pista de la leva.

También debemos realizar la comprobación de que los perfiles de las levas de admisión son iguales entre sí, para lo cual realizamos las mediciones en las cuatro levas de admisión, con lo cual comprobamos que son iguales. Lo mismo se hizo en el árbol de levas de escape y se comprobó que también las levas de escape son iguales entre sí.

Los datos fueron tabulados y los resultados son los siguientes:

Tabla 3.2: (Medidas de las levas de admisión del punto inicial del círculo primitivo).

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	4	4	4
Leva 2	4	4	5
Leva 3	5	4	4

Leva 4	4	4	4
--------	---	---	---

Tabla 3.3: (Medidas de las levas de admisión del punto final del círculo primitivo)

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	68	68	68
Leva 2	68	68	67
Leva 3	69	68	68
Leva 4	68	68	68

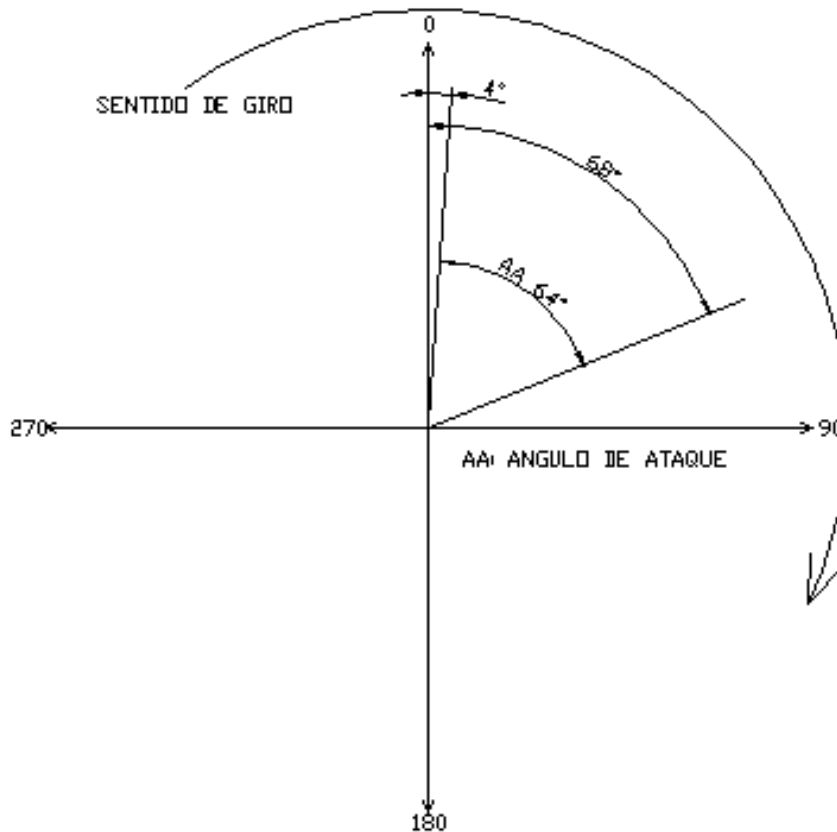


Figura 3.20: (Obtención del ángulo de ataque del eje de levas de admisión)

Una vez obtenido el ángulo de ataque procedemos a restar de 360° , con lo que obtenemos el valor angular del círculo primitivo, que es 296° .

Los datos del eje de levas de admisión tomando en cuenta la holgura entre el taqué y el perfil de la leva son los siguientes:

Tabla 3.4: (Medidas de las levas de admisión del punto inicial del círculo primitivo, tomando en cuenta la holgura)

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	359	358	358
Leva 2	358	358	359
Leva 3	358	359	358
Leva 4	358	358	358

Tabla 3.5: (Medidas de las levas de admisión del punto final del círculo primitivo, tomando en cuenta la holgura)

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	66	66	67
Leva 2	66	66	65
Leva 3	66	66	66
Leva 4	66	66	66

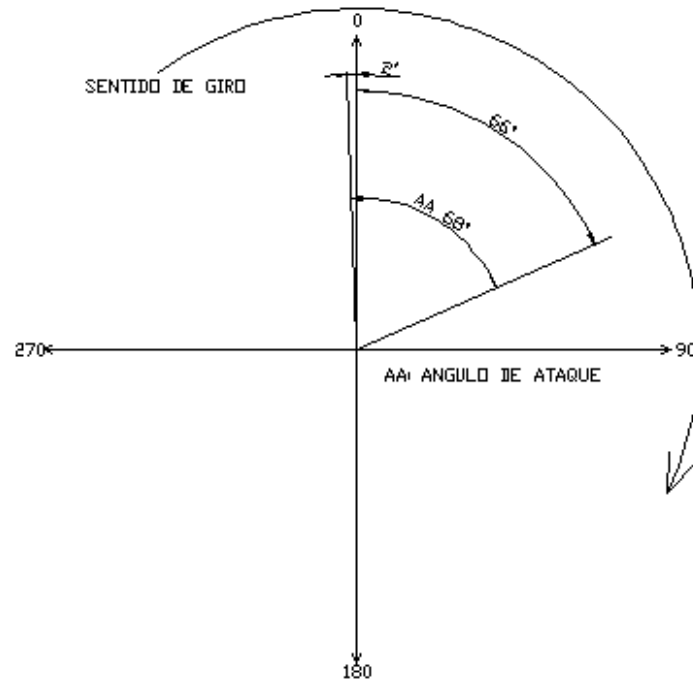


Figura 3.21: (Obtención del ángulo de ataque del eje de levas de admisión, tomando en cuenta la holgura)

Una vez obtenido el ángulo de ataque procedemos a restar de 360° , con lo que obtenemos el valor angular del círculo primitivo, que es **292°** .

Con el mismo procedimiento los datos obtenidos del círculo primitivo para el eje de levas de escape son los siguientes:

Tabla 3.6: (Medidas de las levas de escape del punto inicial del círculo primitivo)

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	108	108	108
Leva 2	108	108	108
Leva 3	108	108	108
Leva 4	108	108	108

Tabla 3.7: (Medidas de las levas de escape del punto final del círculo primitivo)

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	179	179	178
Leva 2	178	178	179
Leva 3	178	178	178
Leva 4	179	178	177

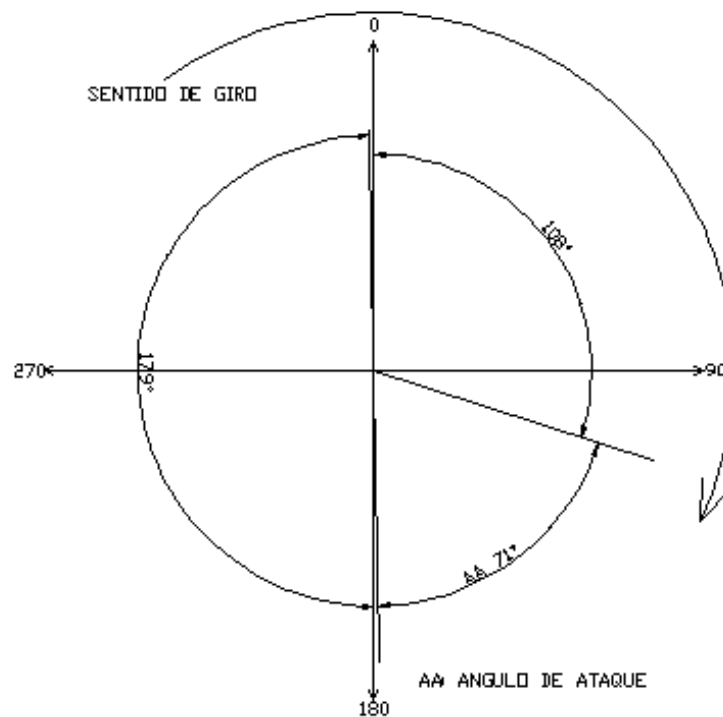


Figura 3.22: (Obtención del ángulo de ataque del eje de levas de escape)

Una vez obtenido el ángulo de ataque procedemos a restar de 360° , con lo que obtenemos el valor angular del círculo primitivo, que es 289° .

Los datos del eje de levas de escape tomando en cuenta la holgura entre el taqué y el perfil de la leva son los siguientes:

Tabla 3.8: (Medidas de las levas de escape del punto inicial del círculo primitivo, tomando en cuenta la holgura)

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	105	105	105
Leva 2	105	105	105
Leva 3	105	105	105
Leva 4	105	105	105

Tabla 3.9: (Medidas de las levas de escape del punto final del círculo primitivo, tomando en cuenta la holgura)

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	172	174	172
Leva 2	174	174	174
Leva 3	175	174	174
Leva 4	174	174	174

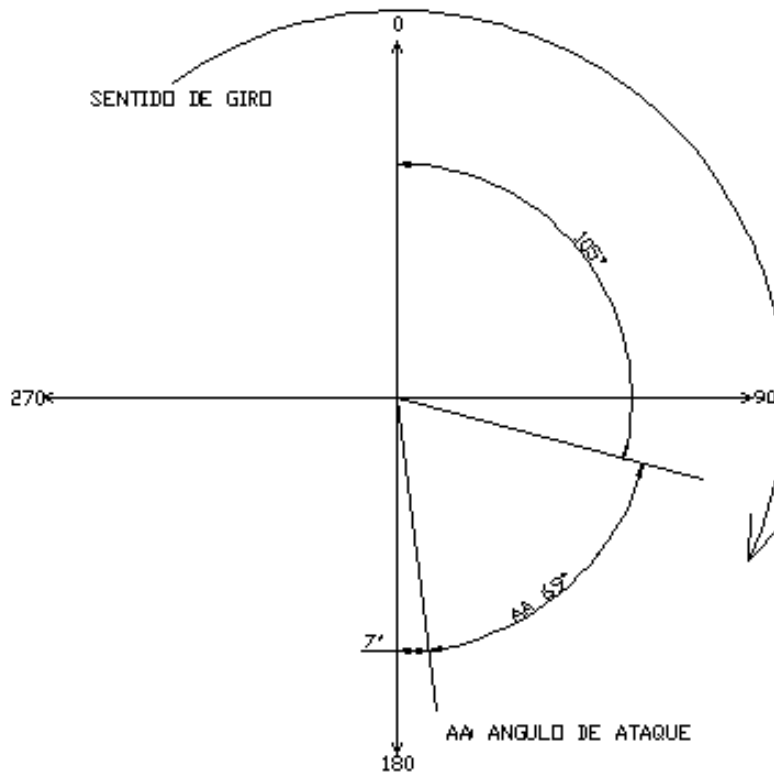


Figura 3.23: (Obtención del ángulo de ataque del eje de levas de escape tomando en cuenta la holgura)

Una vez obtenido el ángulo de ataque procedemos a restar de 360° , con lo que obtenemos el valor angular del círculo primitivo, que es **291°** .

Nuestra segunda hipótesis se basaba en que las levas de admisión y escape son iguales entre si; pero con el procedimiento para hallar el círculo primitivo nos percatamos que las medidas sin tomar en cuenta la luz existente entre el taqué y la leva varían 7° , Lo cual indicaría gran diferencia entre las levas de los dos árboles; pero luego tomando en cuenta la holgura que debe estar calibrada para cada árbol respectivamente, los valores del círculo primitivo pasaron a ser 292° en admisión y 291° en escape; con lo cual supusimos que el valor del ángulo de ataque y por ende del círculo primitivo es igual. Nuestro procedimiento para hallar el valor del círculo primitivo manejó un error de 1 grado.

Pero para confirmar esta hipótesis debíamos obtener datos del manual de servicio del motor, en el cual con sorpresa encontramos los siguientes valores:

Tabla 3.10: (Rangos de alturas permitidos en las levas de admisión y escape)

Altura de leva	Normal	Límite
Leva de admisión	37,54 – 37,70 mm	37,41 mm
Leva de escape	37,05 – 37,21 mm	36,91 mm

Al ver esta tabla podemos constatar que las levas de admisión y escape no son iguales, y pueden variar una de la otra; este es el caso de nuestro motor K10-A DOHC del Chevrolet alto; en el cual vemos que al ser el círculo primitivo mayor en las levas de admisión nos indica que puede existir un poco mas de recorrido en la pista de la leva y por ende mayor altura en la misma en comparación con las levas del eje de levas de escape.

Una vez obtenido el valor de los círculos primitivos de admisión y escape pasamos a obtener al valor de los grados de adelanto y retraso a la apertura y cierre de válvulas; para lo cual decidimos colocar la punta del palpador en una posición apropiada en el taqué, para de esta forma podernos percatar cual es el punto exacto donde la leva empieza a generar movimiento al mismo, y por ende a la válvula.



Figura 3.24: (Posicionamiento del palpador para medir los grados de adelanto y retraso al cierre y apertura de válvulas)

Con los mismos cuidados que utilizamos para obtener los ángulos de ataque, procedemos a obtener los ángulos de apertura y cierre; para lo cual ubicamos al palpador sobre el taqué cuando este se encuentra atacado por el perfil de la leva con toda la altura de la misma, luego giramos el motor en sentido horario para comprobar que la punta del palpador no resbale o se salga de la ubicación en el taqué, después comprobamos que la aguja del palpador señale el momento en el cual la pista de la leva comienza a atacar al taqué y luego cuando deja de atacarlo.

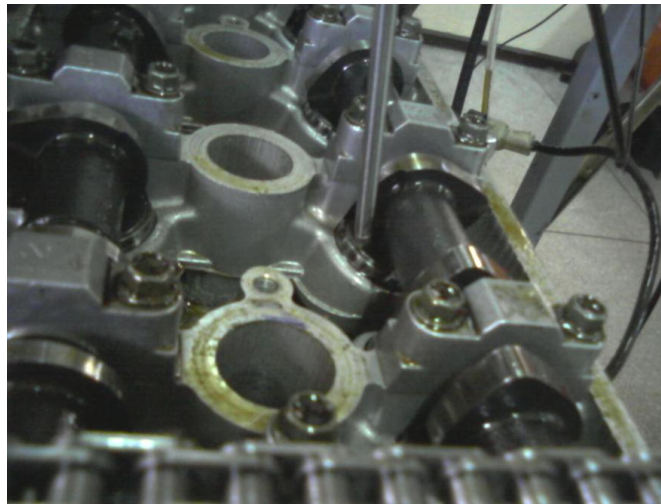


Figura 3.25: (Comprobación de la adecuada posición de la punta del palpador sobre la superficie del taqué)

Una vez comprobado el procedimiento pasamos a girar muy despacio al motor, nos guiamos mediante el árbol de levas de admisión y su configuración para poder saber en que ciclo estamos con respecto al cilindro en donde estemos haciendo la medición, hasta que el taqué señale cuando la pista de la leva tope al taqué. En el árbol de levas de admisión cuando la aguja del palpador señale significa que empieza el ciclo de admisión, y por ende el adelanto a la apertura de admisión (AAA), el cual debemos fijarnos que sea con respecto al punto muerto superior; seguimos girando el árbol, pasamos el punto muerto inferior, y

empieza el retraso al cierre de la válvula de admisión (RCA), al cual lo tomamos en cuenta hasta el punto exacto en que la aguja del palpador deje de señalarnos movimiento en el taqué.



Figura 3.26: (Toma de datos de los ángulos de apertura y cierre en admisión)

Los datos que obtuvimos en admisión fueron los siguientes:

Tabla 3.11: (Datos obtenidos del adelanto a la apertura de la válvula de admisión (AAA))

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	8	8	8
Leva 2	8	8	8
Leva 3	8	8	8
Leva 4	8	8	8

Tabla 3.12: (Datos obtenidos del retraso al cierre de la válvula de admisión (RCA))

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	64	64	64
Leva 2	64	64	64
Leva 3	64	64	64
Leva 4	64	64	64

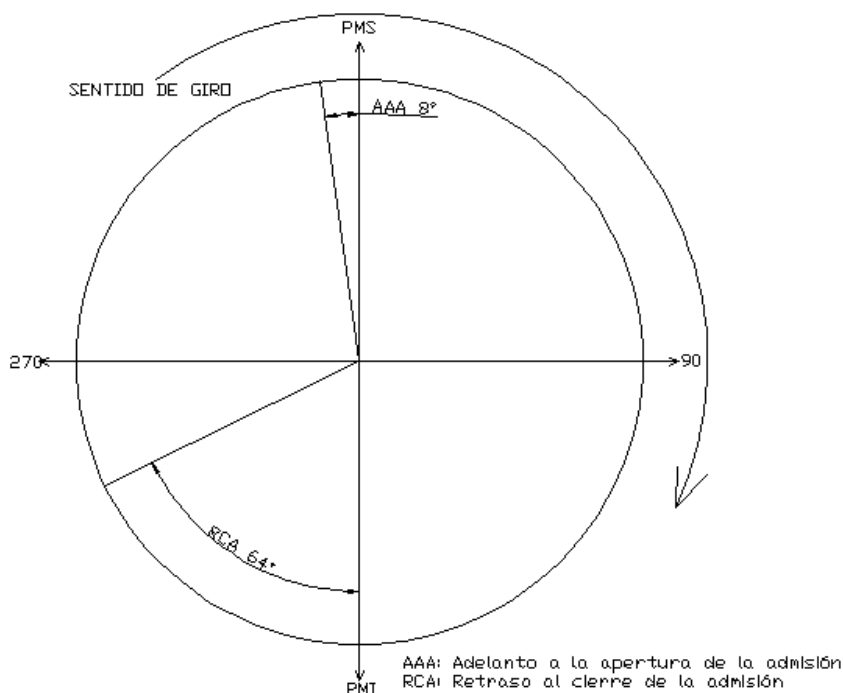


Figura 3.27: (Ángulos de retraso y cierre de la válvula de admisión)

Una vez ubicado con el mismo procedimiento el palpador en el taqué de una de las válvulas de escape procedemos a tomar los datos de los ángulos; para lo cual nos guiamos también mediante el árbol de levas de admisión para poder saber en que ciclo estamos en cada momento de giro, nos fijamos cuando el palpador nos señale movimiento del taqué, este sería el comienzo del adelanto a la apertura de la válvula de escape (AAE), el cual lo tomamos en cuenta hasta el punto muerto inferior; seguimos girando el árbol de levas hasta llegar la punto muerto superior, en donde comenzaría el retraso al cierre de la válvula de escape (RCE), y nos percatamos hasta el punto exacto en el cual la aguja del palpador deje de señalar movimiento en el taqué. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3.13: (Datos obtenidos del adelanto a la apertura de la válvula de escape (AAE))

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	27	27	27
Leva 2	25	25	27
Leva 3	28	27	27
Leva 4	27	28	27

Tabla 3.14: (Datos obtenidos del retraso al cierre de la válvula de escape (RCE))

	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Leva 1	34	34	34
Leva 2	36	34	36
Leva 3	34	35	34
Leva 4	34	36	34

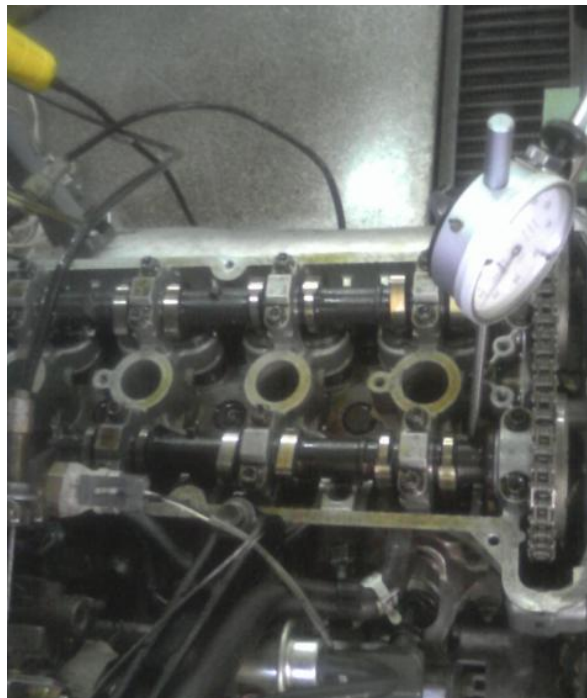


Figura 3.28: (Toma de datos de los ángulos de apertura y cierre en escape)

Una vez obtenidos todos los datos de los grados de adelanto y retraso a la apertura y cierre de válvulas podemos hacer su respectivo diagrama, para el cual obtenemos todos los datos de las tablas respectivas anteriores y del pertinente diagrama de admisión:

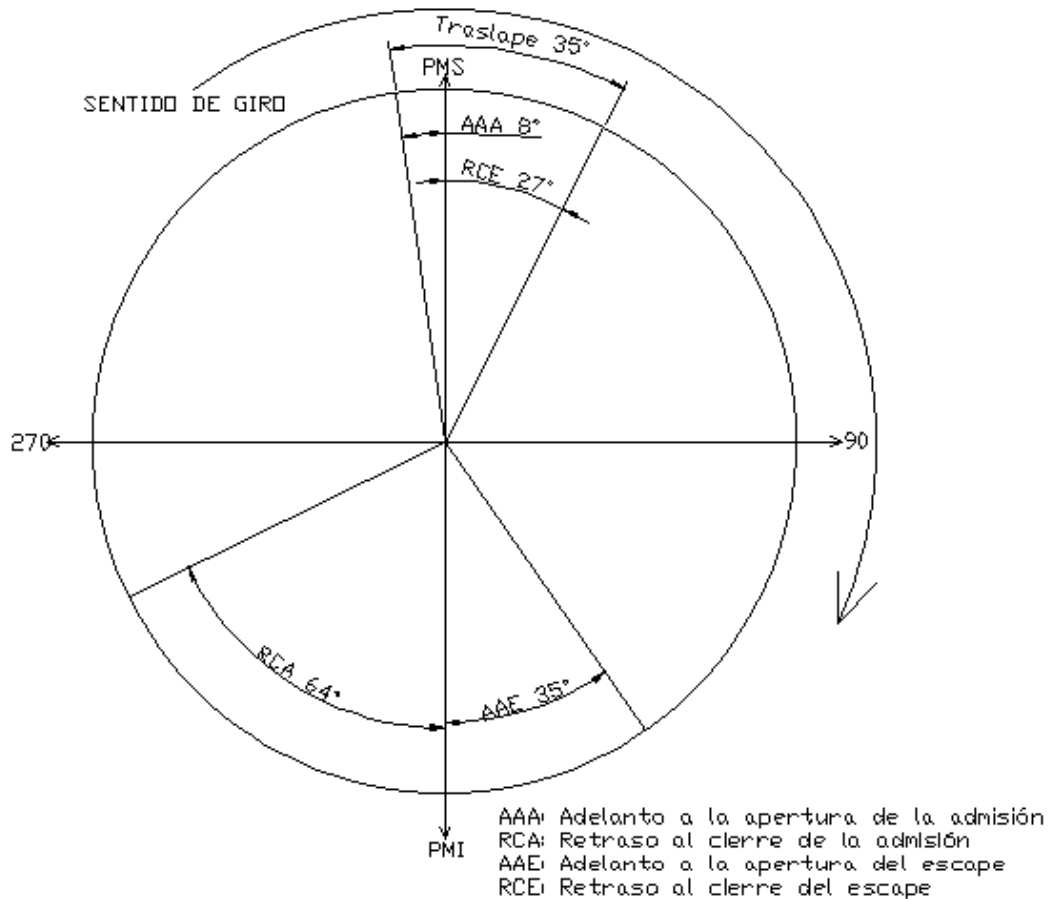


Figura 3.28: (Diagrama de los grados de adelanto y retraso a la apertura y cierre de válvulas)

3.8 ESTÁNDARES UTILIZADOS PARA LA VARIACIÓN DEL PERFIL DE LEVAS

Con todos los datos teóricos claros para el diseño del árbol de levas, debemos establecer cual es el método que vamos a utilizar para el diseño geométrico de nuestro árbol de levas con perfiles modificados. El primer tema a ser analizado es en base a que parámetros realizaremos la modificación del perfil geométrico

y cuales son las variables en la leva a ser modificadas; para esto debemos ir a las bases principales de funcionamiento del motor, que son la potencia y el torque.

La potencia como se indicó anteriormente es la rapidez a la cual se realiza un trabajo; entonces para que un motor pueda alcanzar un trabajo con mayor rapidez existen varias variables de desempeño; concretamente al sistema de distribución las más importantes son la frecuencia natural de los resortes de válvulas, tema que sale del estudio de nuestro proyecto, y la rapidez de hacer ingresar y salir mezcla aire combustible del cilindro. Como sabemos esto depende de la apertura y cierre de válvulas, por ende esto tiene relación directa con el adelanto y retraso al cierre y apertura de válvulas; ya que de este depende la rapidez con la que el flujo de aire ingresa en el cilindro.

Entonces siguiendo la secuencia de nuestras hipótesis, las cuales han sido probadas por los diseñadores de motores; podremos definir que mientras más rápido podamos lograr que el flujo de aire ingrese al cilindro sin mermar la cantidad óptima de aire que ingresa hacia el cilindro para la combustión en función del número de revoluciones, más potencia podremos generar en el motor. Ahora bien, existen ciertas variables de diseño que limitan el modificar los ángulos de apertura y cierre de las válvulas para incrementar la potencia en el motor, una de ellas y quizás la principal es la resistencia de todos los materiales del motor; ya que si aumentamos la rapidez con la cual se realiza el trabajo, estamos afectando directamente a la resistencia dinámica de todos los componentes, los cuales poseen un límite de fatiga determinado.

Otra importante variable son los regímenes de giro del motor; ya que debemos tomar muy en cuenta que al modificar los ángulos de apertura y cierre de las válvulas, la cantidad de aire que va a entrar al cilindro y la rapidez de la misma va a ser demasiada para revoluciones bajas, por lo que la marcha de ralenti del motor sube de en promedio las 900 a 1000 RPM, hasta el número de RPM acorde a nuestra modificación. Por ejemplo existen autos de rally que su marcha mínima o ralenti esta alrededor de las 2500 RPM. Entonces podemos definir que la marcha en bajas revoluciones se vuelve demasiado inestable e

inoperante; por lo cual los modificadores de motores tienen que recurrir a varias modificaciones, como por ejemplo modificar al motor de arranque, haciendo que este proporcione el giro inicial al motor por encima de las revoluciones, ya modificadas, en las que el motor puede operar en condiciones normales.

Entonces una vez establecidos los conceptos teóricos y las variables que deben ser modificadas en las levas para el aumento de potencia, procedemos a establecer las limitaciones; las cuales vienen dadas en primera instancia por el límite en el aumento de los grados de adelanto y retraso del cierre y apertura de válvulas, las cuales según recomendaciones hechas por preparadores de motores para competencia, no pueden superar los 5 grados de aumento en cada uno de los ángulos de adelanto y retraso de las levas de admisión y escape; ya que si sobrepasamos este nivel el motor tendría un funcionamiento sumamente inestable en las 900 a 1000 revoluciones, rango en el cual funciona la marcha baja de nuestro motor, lo cual generaría que sin modificaciones adicionales el motor no se encienda.

Ahora bien, otro factor de diseño geométrico importante es que aunque realicemos un aumento de 5 grados en todos los ángulos de adelanto y retraso de los árboles, el traslape de válvulas no debe aumentar en la medida de lo posible; esto quiere decir que el tiempo de traslape de válvulas puede ser modificado pero sus grados no pueden ser aumentados. Para el efecto se puede hacer por ejemplo un aumento en retraso al cierre de la admisión, pero al mismo tiempo debemos retardar el adelanto a la apertura del escape, con lo cual podremos mantener la cantidad de grados del traslape.

Un beneficio adicional de retrasar el adelanto a la apertura del escape es que aunque se dificulte un poco el trabajo del motor cuando este se encuentre en el ciclo de escape, la presión que se va a generar va a permitir que los gases de escape salgan con más velocidad y generen un mayor vacío que va a ser llenado por la entrada de aire desde el múltiple de admisión.

Con todas estas hipótesis se nos viene a la mente el hecho de porque los fabricantes de motores no realizan estas modificaciones en los motores para brindarles mejores prestaciones, la respuesta es que adicionalmente los

diseñadores tienen que tomar en cuenta el tiempo de vida útil del motor, el cual con estas adaptaciones se reduce, pero para nuestro estudio hacemos la modificación de los árboles para convertir al motor en uno de competencia en el cual el tiempo de vida útil pasa a segundo plano.